

平成 12 年度環境省請負業務

温暖化対策クリーン開発メカニズム事業調査
ベトナムにおけるサトウキビからエタノール含有ガソリン
の製造に関する調査

報 告 書

平成 13 年 2 月

株式会社ジャパンエナジー・リサーチ・センター

ベトナムにおけるサトウキビからエタノール含有ガソリンの製造に関する調査

目次

	ページ
1 目的	1
2 調査概要	
2・1 調査の背景	2
2・2 事前調査	2
2・3 現地調査	3
2・4 プロジェクトの立案	5
2・5 プロジェクトの効果と評価	7
3 事前調査	
3・1 文献調査による現状把握	12
(1) ベトナムの農業の概要	12
(2) バイオマスエタノール導入計画	12
(3) エタノール生産技術調査	14
(4) 自動車への影響	16
3・2 専門家ヒアリングによる現状把握	22
3・3 現地調査方法の検討	26
4 現地調査	
4・1 ベトナムの地球温暖化対策の政策・方針	27
4・2 ベトナムの地理・社会・経済	36
4・3 ベトナムのエネルギーの状況	51
4・4 ベトナムの農業	61
4・5 サトウキビ栽培	66
4・6 砂糖工場	73
4・7 エタノール工場	80
4・8 コスト	83
4・9 ガソリン	89
(1) ガソリン需要と供給の推移と見通し	89
(2) 鉛添加量	90
4・10 現地の関心度、積極度	92
4・11 プロジェクト実施にあたっての諸条件、問題点	93

5	プロジェクトの立案	
5.1	プロジェクトの内容	94
(1)	対象地域の範囲	94
(2)	技術分野	96
(3)	実施スケジュール	106
5.2	資金計画	109
5.3	カウンターパートとの実施体制	109
6	プロジェクトの効果と評価	
6.1	対象となる温室効果ガスの排出量の試算	112
(1)	技術的根拠	112
(2)	算定基礎となるベースライン	120
(3)	温室効果ガス排出削減量	121
6.2	費用対効果	124
6.3	温室効果ガス以外に生じうる影響	132
(1)	環境面	132
(2)	社会面	135
6.4	プロジェクトの持続可能性	137
6.5	プロジェクトの対象地域外の普及・適応効果	137
6.6	効果の具体的な確認方法(モニタリング方法)	138
6.7	プロジェクトの実現可能性	140
7	まとめ	141
	文献リスト	142

1. 目的

バイオマスエネルギーは、熱帯・亜熱帯地域等において、植物育成が早く、豊富な資源となり得るバイオマスを原料とし、過去の石油危機時代を背景に代替エネルギーとして導入された例（ブラジル、他）があり、現在に至っている。近年、再生可能エネルギーであるバイオマスエネルギーはCO₂発生量を抑制する効果があること、またバイオマス廃棄物が有効利用されることから、地球温暖化対策の重要課題の一つとしてクローズアップされるようになった。また、自動車からの排ガスによる大気汚染改善効果が期待できる含酸素燃料（MTBE 等）の代替として、バイオマス由来のエタノールが注目されるようになっている。

わが国では第2次石油危機以降、熱帯・亜熱帯地域における海外立地を基盤としたバイオマス燃料に着目した調査や検討が実施された経緯がある。

対象国であるベトナムにおいては、経済の急速な発展に伴いガソリン消費量も急速な増加を示しているが、製油所建設が大幅に遅れており、輸入に頼っている加鉛ガソリンの増大は環境問題として大きな課題となっている。

一方、同国は熱帯及び亜熱帯気候に属し、サトウキビの栽培に適しており、砂糖の生産が盛んである。また農業に適した広大な未利用地が残っており、サトウキビを基礎農産物とする産業の構築は可能である。そこで、サトウキビから得られる砂糖の搾りかすであるバガス(バイオマス)を利用してエタノールを製造し、ガソリンと混合したエタノール混合ガソリン（ガソホール：Gasohol）を生産するプロジェクトの可能性、温室効果ガス削減効果について検討することとする。

本調査では、ベトナムにおいて、バイオマス原料からエタノールを製造し、ガソホールを供給し、これによる同国内におけるCO₂削減効果及びプロジェクトの可能性についての検討を行う。即ち、サトウキビから得られる砂糖の未利用糖分である廃糖蜜（モラセス）及び搾りかすであるバガスを原料とし、バイオ技術によりエタノールを製造する。これは化石燃料（石油）の一部を再生可能なバイオ燃料(エタノール)で代替することによる、CO₂発生量の削減を意味する。なお、ガソリンに添加されているオクタン価向上剤である鉛化合物を削減することが可能となる。

2. 調査概要

2.1 調査の背景

バイオマスエネルギーは、熱帯・亜熱帯地域等における植物育成が早く、豊富な資源となるバイオマスを原料とし、過去の石油危機時代を背景に代替エネルギーとして導入された例(ブラジル等)があり、現在に至っている。近年、再生可能エネルギーであるバイオマスエネルギーはCO₂発生量を抑制する効果があること、またバイオマス廃棄物が有効利用されることから、地球温暖化対策の重要課題の一つとしてクローズアップされるようになった。また、自動車からの排ガスによる大気汚染改善効果が期待できる含酸素燃料(MTBE 等)の代替として、バイオマス由来のエタノールが注目されるようになっている。

わが国では第2次石油危機以降、熱帯・亜熱帯地域における海外立地を基盤としたバイオマス燃料に着目した調査や検討が実施された経緯がある。

対象国であるベトナムにおいては、経済の急速な発展に伴いガソリン消費量も急速な増加を示しているが、製油所建設が大幅に遅れており、輸入に頼っている加鉛ガソリンの増大は環境問題として大きな課題となっている。

一方、同国は熱帯及び亜熱帯気候に属し、サトウキビの栽培に適しており、砂糖の生産が盛んである。また農業に適した広大な未利用地が残っており、サトウキビを基礎農産物とする産業の構築は可能である。そこで、サトウキビから得られる砂糖の搾りかすであるバガス(バイオマス)を利用してエタノールを製造し、ガソホール(Gasohol:エタノール含有ガソリン)を生産するプロジェクトの可能性、温室効果ガス削減効果について検討することとする。

2.2 事前調査

事前調査の目的として、ベトナムのサトウキビ栽培の概要、ガソホールの導入例とその実態と考え方の把握、バイオマスエタノールの生産技術及びコスト、ライフサイクル分析について、文献調査を実施し、概略内容を把握し、専門化ヒアリングを実施した。更に、エタノールの生産現場を訪問して、現地調査の補足分を補うこととした。

専門家ヒアリングは以下の3ヶ所を訪問して、現地調査の内容を策定した。

- ・ アルコール協会
- ・ 長岡科学技術大学
- ・ NEDO アルコール工場

2.3 現地調査

ベトナムへの現地調査は9月27日～10月6日及び12月6日～12月16日の2回実施した。その調査内容の概要は以下の通り。

第1回現地調査（9月27日～10月6日）

- ・ベトナムの農業, エネルギー事情
- ・サトウキビ工場調査（北部及び南部）
- ・サトウキビ栽培地調査（北部）
- ・エタノール製造技術
- ・エタノール工場調査
- ・ガソリン需要量調査

第2回現地調査（12月6日～12月16日）

- ・プロジェクト案の検討と方向付け
- ・サトウキビ工場調査（南部）
- ・サトウキビ栽培地調査（南部）
- ・エタノール製造技術
- ・無鉛化計画

（1）ベトナムの概況

1）地球温暖化対策の政策・方針

現地調査では、科学技術環境省（MOSTE: Ministry of Science Technology and Environment）を訪問し、クリーン開発メカニズムのプロジェクトの基準に関する以下の情報を得た。

- ・国の利益に合致すること
- ・効果が測定可能で長期間持続すること
- ・温室効果ガスの排出量が減少すること
- ・環境に影響を与えないと保障された技術であること

2）農業

ベトナムにおける農産物は、米が中心であり、その他としてトウモロコシ、甘藷、サトウキビ、キャッサバ、ピーナッツ、コーヒー、ゴム等である。主要農産物の作付面積の推移をみると、米は春、夏、冬期の3期の収穫があり、その一部は2毛作を行っており、米、トウモロコシ、サトウキビが増えているのに対して、甘藷、キャッサバは減っている。

(2) サトウキビ栽培地及びエタノール生産状況調査

現地調査を実施し、エタノール製造技術、サトウキビ生産量、砂糖及びエタノール生産工場の現状については、国立自然科学技術センター（NCST）、熱帯生物学研究所（ITB）、工場を訪問し、以下のことを把握した。

サトウキビの栽培は北部から南部にかけて行われているが、南部のメコン川デルタを中心とする地域で多く生産され 1999 年で 30 万ヘクタールとなっており、生産量は 18 百万トン/年である。最近の生産量が多くなっているのは、砂糖の増産政策「シュガー・プロジェクト」（2000 年に 100 万トン/年目標）による。

サトウキビ及びエタノールの生産状況については、第 1 回現地調査にて北部では今年から民営化したラム・ソン工場を調査した。ここでは 2 万ヘクタールの栽培地からサトウキビ 1 百万トン/年を生産し、サトウキビ工場は 6,000 トン/日程度の処理能力をもち、砂糖 12 万トン/年程度、エタノールは 15,000kl/年を生産している。南部ではビン・ドン工場、タイ・フン工場を調査した。前者はサトウキビ 2,000 トン/日の処理能力、砂糖は 3,500 トン/年、エタノールは 20-30kl/年（現在は生産していない）、後者はエタノール製造のみの小工場でモラセス（廃糖蜜）を原料とし、原料処理能力 4,000 トン/年であり、エタノールを 1,000kl/年生産している。

第 2 回現地調査では、南部タイ・ニン省のサトウキビ栽培地及びロン・アン省ヒーブ・ホア砂糖・エタノール工場及びタイ・ニン省ホア・タンにあるビン・ホア第 2 工場を調査した。前者はサトウキビ処理能力 2,500 トン/日であり、砂糖 250 トン/日、エタノール 30kl/日程度を生産している。後者は 7 千ヘクタールのサトウキビ栽培地、2,500 トン/日の処理能力を有し、砂糖は 300 トン/日程度を生産しているが、エタノールは現在生産していない。なお、サトウキビ栽培地での調査では、病害虫処理対策の必要性についての指摘がある。

(3) ガソリン需要調査

ガソリンの需要量についてはペトロベトナム石油公社の研究所から以下の情報を得た。

ガソリンは石油製品需要の 24%程度を占め、1998 年で 160 万トン/年(220 万 kl/年、38,000b/d)の需要がある。2000 年では 190 万トン/年、2005 年では 295 万トン/年の需要を想定している。これは年率 8%の伸びに相当する。

ガソリン中に添加されているオクタン価向上剤の鉛化合物（四エチル鉛）は、オクタン価 83（約 60%シェア-）で 0.15g/l、オクタン価 92（約 40%）で 0.40g/l である。無鉛化計画があり、2001 年 7 月から実施するという首相名通達が生産 11 月下旬に出された。（日本の例では、完全に無鉛化されるには 10 年程度の経過期間を必要とした。）

2.4 プロジェクトの立案

(1) 対象地域

エタノール生産工場を設置する地域としては、ガソリンの需要量が多いベトナム南部地域を中心に、メコンデルタ地域、南部東北部（ホーチミン市から北部の内陸）、北部中央部（ハノイから南方方向）とする。

(2) 技術分野

1) エタノール生産技術

バイオマス原料であるサトウキビからのエタノール生産技術については、当社グループにおける研究開発の実績もあり、文献調査、ヒアリング調査を含めて以下の結果を得た。

サトウキビの圧搾工程にて、砂糖の原料となる糖汁（シュガージュース）及び搾りかすである繊維質（セルロース）を含むバガスに分離される。

糖汁は砂糖を生産する場合には、糖汁の結晶化工程後の搾りかすとしてモラセス（廃糖蜜）が得られ、モラセスからは発酵工程を経て、エタノールが生産される。砂糖を生産しない場合の糖汁は、そのまま発酵工程でエタノールを製造する。

バガスは工場内の燃料及び肥料・飼料として利用されている。

バガスからガソール用のエタノールを生産する場合には、糖化、発酵、エタノール分離、脱水工程を経て、生産される。

バガスは、前処理工程にて不純物を分離した後、繊維質（セルロース）は糖化工程（加水分解反応）にてグルコース（糖分）とし、発酵工程（酵母にて発酵）に送られる。

糖化工程の加水分解反応は、酵素を用いるバイオ技術による方法と硫酸を使用する方法がある。前者は経済性を考慮すると、まだ完成された技術とは言えないが、今後のコストダウンが期待される技術として注目されている。

得られるエタノールは5%程度の水分が含まれている。ガソリンに混合するには無水とする必要があるため、脱水工程が必要となる。

2) ガソール生産技術

2005年までのガソリンの需要量は8%/年の伸び率とし、ガソールはその需要量の1/2程度が供給されるとする。

ガソホルのエタノールの含有量は、混合安定性及びガソリン用自動車エンジンへの影響がないと考えられる 20wt% (19vol%) を採用する。100%エタノール燃料はブラジルでは導入しているが、燃料供給システムを含めたエンジンの改造等が必要である。

3) プロジェクトケースの考え方

本プロジェクトではエタノールの生産により、2005 年においてガソホルはガソリン需要量の半分の約 150 万トン/年 (200 万 kl/年、35,000 b/d) が供給される。

エタノールの生産方法は、砂糖を生産するケース (ケース 1)、砂糖を生産しないケース (ケース 2) について検討する。

サトウキビはエタノール 1 工場当り 20,000ha (サトウキビ収量 60t/ha) が適切な栽培面積とし、120 万トン/年のサトウキビが得られるとする。1 工場のイメージは以下の通り。

砂糖工場の稼働率はサトウキビの備蓄が難しいことから生産に合わせることになるために、生産時期の 11 月頃から 5 月頃までの半年間 (180 日) となる。エタノール工場は砂糖工場併設ケースでも、バガス及びモラセスの短期間の貯蔵は可能であることから 9 ヶ月間の稼働が可能とし、270 日稼働とする。表 2.4.1 に 1 工場の規模と生産能力を示す。

表 2.4.1 1 工場の規模と生産能力

	ケース 1	ケース 2
生産形態	砂糖併産	エタノールのみ生産
サトウキビ処理能力	6,700 t/日 (180 日稼働)	6,700 t/日 (180 日稼働)
砂糖生産量*	144,000 t/y	なし
エタノール工場原料処理能力	194,000 t/y (270 日稼働)	301,000 t/y (270 日稼働)
エタノール生産量**	42,000 kl/y (980b/d)	96,000 kl/y (2,240b/d)

(注) * $1,200,000 \times 0.12 = 144,000 \text{ t/y}$

** ケース 1 $1,200,000 \times 0.035 = 42,000 \text{ kl/y}$

ケース 2 $1,200,000 \times 0.080 = 96,000 \text{ kl/y}$

(3) 実施スケジュール

本プロジェクトは 2001 年よりスタートし、2005 年でガソリンの需要量の約 1/2 がガソホルに転換された場合を想定する。工場はサトウキビ生産に合わせて逐次建設されるとし、2005 年にはケース 1 で 9 工場、ケース 2 で 4 工場が完成し、運転される。砂糖併産ケースとエタノール

のみ生産のケースの必要となる工場数及びエタノール生産量等を表 2.4.2 に示す。

表 2.4.2 工場数及びエタノール生産量(2005 年)

	ケース 1 (砂糖及びエタノール)	ケース 2 (エタノール)
工場建設数	9	4
サトウキビ作付面積(千 ha)	180	80
サトウキビ供給量(千トン/年)	10,800	4,800
砂糖生産量(千トン/年)	1,300	-
エタノール生産量(千 kl/年)	378	384
ガソホール供給量(千 B/D)	35	35

実施スケジュールに従い、エタノールが供給されるとすると、各年におけるガソリンとガソホール供給バランスは表 2.4.3 に示すようになる。

表 2.4.3 ガソリンとガソホール供給バランス (単位: 1,000t/y)

	2001	2002	2003	2004	2005	備考
(ケース 1) ガソリン	2,166	2,339	1,863	2,065	1,455	
ガソホール			663	663	1,495	エタノール 20wt% 含有
(ケース 2) ガソリン	2,166	2,339	1,768	1,970	1,434	
ガソホール			758	758	1,516	エタノール 20wt% 含有
合計	2,166	2,339	2,526	2,728	2,950	需要 8.0%/年

4. プロジェクトの効果と評価

(1) 温室効果ガス排出量の試算

1) 技術的根拠

ガソリンとエタノールの生産から消費までの LCA(ライフ・サイクル分析)を行い、夫々の工程の CO2 発生量を算出して、ベースライン及びプロジェクトの実施による CO2 削減量を算出する。化石燃料であるガソリンに対して、再生可能エネルギーであるバイオマスからのサトウキビを

原料とするエタノールを含むガソールは CO2 削減効果が期待できる。

2) ベースラインの設定

(a) ベースラインの考え方

ガソリン需要量は 1999 年 186 万トン/年 (43,800b/d) をベースに 8.0%/年の伸びとし、2005 年には 295 万トン/年 (404 万 kl/年、69,600b/d) になる。

(b) ベースラインの計算結果

ガソリン及びエタノールの CO2 発生量については以下の結果となる。

単位：kg-CO2/kl

	生産	燃焼	合計
ガソリン	360	2,360	2,720
エタノール	1,120	-	1,120

エタノール燃焼における CO2 はサトウキビによる CO2 吸収で相殺され、エタノール生産における CO2 発生量は 1,120 kgCO2/kl となり、ガソリン 2,720 kgCO2/kl の 41%に相当する。

(c) ベースラインの CO2 発生量計算結果

ガソリンの需要に伴う、ベースラインの CO2 発生量は以下の結果となる。

(単位：10³ トン CO2/年)

	2001	2002	2003	2004	2005
ガソリン CO2 年別	8,070	8,715	9,412	10,164	10,992
累計	8,070	16,785	26,197	36,361	47,353

3) CO2 排出削減量

ケース別の CO2 排出削減量の試算結果を表 2.4.4 に示す。CO2 削減量はベースラインに対し、2005 年で 6.3% 程度の削減（削減量は 690-700 千トン/年）が予想される。

表 2.4.4 CO2 排出削減量

単位：千トン CO2/年

	2001	2002	2003	2004	2005
ベースライン 発生量	8,070	8,715	9,412	10,164	10,992
ケース 1 発生量 削減量	8,070 -	8,715 -	9,106 306	9,859 306	10,302 690
削減量累計	-	-	306	602	1,302
ケース 2 発生量 削減量	8,070 -	8,715 -	9,062 350	9,815 350	10,292 700
削減量累計	-	-	350	700	1,400

(2) 費用対効果

1) プロジェクト年間経費

1 工場当りの年間経費をベースに、各ケースの第 1 期（2003 年）、第 2 期（2005 年）の年間経費及びプロジェクト完了時における年間経費の算出結果を表 2.4.5 に示す。

表 2.4.5 プロジェクト年間経費

	ケース 1 砂糖併産		ケース 2 エタノールのみ生産	
	第 1 期	第 2 期	第 1 期	第 2 期
工場数	4	9	2	4
総建設費（百万ドル）	288	648	130	260
砂糖生産量（トン/年）	576,000	1,296,000	-	-
エタノール生産量（kl/年）	168,000	378,000	192,000	384,000
工場従業員数（人）	2,800	6,300	1,300	2,600
年間経費（億円/年）				
固定費	54	123	25	49
用役費・副原料費	34	78	27	53
原料費	72	162	36	72
労務費	8	19	4	8
砂糖の外販収入	-115	-259	-	-
エタノールの外販収入	-50	-113	-58	-115
合計	4	8	33	67

2) 温室効果ガス削減の費用対効果

表 2.4.5 のプロジェクト年間経費をベースに、温室効果ガス削減効果を試算した結果を表 2.4.6 に示す。

表 2.4.6 温室効果ガス削減効果

単位：千トン-CO2/年、億円/年、千円/トン-CO2

		2001	2002	2003	2004	2005
ベースライン	CO2 発生量	8,070	8,715	9,412	10,164	10,992
ケース 1	CO2 削減量			306	306	690
	年間経費			4	4	8
	費用対効果			1.2	1.2	1.2
	CO2 削減量累計			306	612	1,302
	年間経費累計			4	8	16
	費用対効果累計			1.2	1.2	1.2
ケース 2	CO2 削減量			350	350	700
	年間経費			33	33	67
	費用対効果			9.5	9.5	9.5
	CO2 削減量累計			350	700	1,400
	年間経費累計			33	67	133
	費用対効果累計			9.5	9.5	9.5

(算出方法) 年別の費用対効果 = 年間経費/削減量

プロジェクト累計の費用対効果 = 年間経費累計/削減量累計

砂糖を併産するケース 1 では、粗砂糖及びエタノールの外販収入を控除した後とするベースで、CO2 削減の費用はプロジェクト完成後の 2005 年以降は 1,200 円/トン-CO2 になり、またエタノールのみを生産するケース 2 では 9,500 円/トン-CO2 程度となる。

(3) 温室効果ガス以外の影響

1) ガソリン中の鉛添加量の削減

ガソホルの導入により、ガソリンに添加されているオクタン価向上剤の鉛化合物(四エチル鉛)は、表 2.4.7 に示すように、2005 年でケース 1 では 307 トン/年、ケース 2 では 311 トン/年を削減できる。

表 2.4.7 ガソリン中の鉛削減量

単位：トン/年

	2001	2002	2003	2004	2005
ベースライン 添加量	455	480	519	561	606
ケース 1 添加量	455	480	382	424	299
削減量	-	-	137	137	307
削減量累計	-	-	137	274	581
ケース 2 添加量	455	480	363	405	295
削減量	-	-	156	156	311
削減量累計	-	-	156	312	623

また、含酸素燃料であるエタノールの導入は、NOx、HC 及び CO の排出量の削減効果がある。

2) 砂糖の増産

砂糖を併産するケースでは、2005 年では年間 130 万トンの砂糖が増産される。

3) 雇用効果の創出

サトウキビ栽培及び砂糖・エタノール工場の雇用効果が創出され、2005 年ではケース 1 では 23 千人、ケース 2 では 10 千人程度の雇用が期待できる。

3. 事前調査

事前調査の目的として、ベトナムのサトウキビ栽培の概要、ガソホールの導入例とその実態と考え方の把握、バイオマスエタノールの生産技術及びコスト、ライフサイクル分析について、文献調査を実施し、概略内容を把握し、専門化ヒアリングを実施した。更に、エタノールの生産現場を訪問して、現地調査の補足分を補うこととした。

文献調査の一部については、「現地調査」及び「プロジェクトの効果と評価」の中で一緒にして記すこととする。

3.1 文献調査による現状把握

(1) ベトナムの農業の概要

ベトナムの農業の実態については、政府関係資料の他、現地統計資料を入手し、概略のイメージを構築した。

ベトナムは農業中心の経済であり、米の生産量は世界で5位に位置する。特に南部のメコン川デルタ地域及び北部のホー河デルタ地域における米の生産は国内全体の73%を占めている。

サトウキビについては近年の生産量の増加が大きい事が注目された。

内容については、現地調査の中で報告する。

(2) バイオマスエタノール導入計画

バイオマスエタノールをガソリンに混合して使用している代表的な例としては、ブラジルと米国である。これらの例について、以下に記す。

1) ブラジルの国家アルコール (Proalcool) 計画

(a) 経緯

ブラジルではサトウキビを原料とする砂糖生産は主要産業である。1973年の第1次石油危機における原油価格の高騰と1974年末から始まった砂糖価格の暴落を契機にエタノール生産への転換を含めて、1975年に国家アルコール計画がスタートした。当初はレギュラー、プレミアムに加え、MON80以上の規格で22%エタノール含有ガソリン(ガソホール)が導入された。1979年に発生した第2次石油危機に合わせて、更にニート・エタノール(Neat:含水95%エタノール)燃料が導入された。1989年以降Offshoreで原油が開発され、安い原油が発見され少なくとも20年間の埋蔵量が確認されたたこともあり、ガソリン不足に対する懸念はなくなった。今日のニート用自動車は4百万台が走行しており、エタノールは輸送用燃料の41%を占める。燃料

用エタノールは1989年のガソリン換算181,000bbIから1997年では206,000bbIに増加(+1.7%/年)し、ガソホールの増加率は23%、ニートは-0.9%である。なお、ニート・エタノールはガソリンの80-85%価格で販売している(1979年64.5%/1990年80%)。

国家アルコール計画は当初の石油危機への対応から、環境問題、雇用問題を基盤とする様になっている。ブラジルではサトウキビの収穫は全て人手でなされており、化石燃料の使用は抑えられているため、バイオマスエタノールの使用は温室効果ガスの管理に効果のある緩和策である。政府はアルコール計画を再活性化するためにバス、タクシーへのインセンティブについて知事と交渉、生産者への財政援助、Petrobrasでなく distributor がエタノールをブレンドできるシステムへの変更を進めようとしている。

ブラジルにおけるエタノール燃料に関する歴史的な経緯の概要を表3.1.1.に示す。

表3.1.1 ブラジルにおけるエタノール燃料に関する歴史的な経緯

1931年	ガソリンにアルコール5%を添加することを義務づけた		
1941	65万kl生産		
	1975年まで砂糖産業保護の目的でガソリンへの混合比率を変えて継続		
1970	サトウキビ50百万tで砂糖5百万t生産		
1975	Proalcool計画開始 ガソリンA(レギュラー、有鉛)、B(プレミアム) C(22%ブレンド)		
1979	第2次石油危機で更に計画を推進：ニート・エタノールを導入		
1985	サトウキビ生産は1975年の4倍		
1989	600醸造所 16百万kl生産能力		
1996	352醸造所	南部 246/ 北東部 106	砂糖+エタノール 196 エタノールのみ 135 砂糖のみ 21
1997	エタノール12.7百万kl需要あり、63%はニートで使用		
	サトウキビ生産量 286百万t		
	35%(収量1t/8.5t=0.118)		砂糖13.6百万t
	65%(収量1kl/12.5t=0.08kl/t)		エタノール14.3百万kl
	サトウキビ作付面積 4.2百万ha		
	平均収量 65t/ha		

(b) 環境面の効果

ブラジルの加鉛の廃止は1991/11月からである。

(c) 雇用の創出

サンパウロ州はブラジル全体のサトウキビ生産の60%を占める。サトウキビ100万t/y当りの直接労働力は2,200人(農業1,600、工場600人)、このうち農業管理者、工場技術者は30%、中間技能者(運転手等)10%、非技能者は60%を占め、さらに660人の間接労働力を創出する。サンパウロは140百万haの作付面積を有しているため380,000人の労働力が創出されている。

ブラジル北東部は生産効率、機械化の遅れ、労働力資質が低いこと等から単位生産量当りの労働力は3倍にもなる。1990年で、ブラジル全体では直接80万、間接25万、内2/3の70万人がエタノール生産に関与している。

2) 米国のアルコール計画

米国では、サトウキビ栽培はコストが掛かり過ぎる等の理由から、余剰トウモロコシを原料としており、1995年では500万kl/年が中央部の州を中心に生産され、エタノール10%含有ガソリンが供給されている。全米のガソリン供給の1%に相当するが、ケンタッキー州では40%に達している。

カリフォルニア州等ではRFG(酸素2%以上)を供給する義務があり、現在はMTBEを添加している。MTBEは発ガン性があると指摘され、2002年末までの段階的禁止(phase-out)の知事宣言がなされ、公聴会を開催して実現化を進めている。これの代替としてバイオマスエタノールが挙げられている。理由としては、エタノールはオクタン価が高以ことと含酸素量が大きいためにMTBEの1/2の添加量で済むこと、ブタンは高揮発性で添加できないこと等が挙げられる。

この動きとは別に、再生可能エネルギーとしてのバイオマスアルコール導入計画がある。バイオマス廃棄物(稲わら、都市ゴミ等)を原料とし、1プロジェクト当たり36-90,000kl/年のエタノールを生産し、ガソリン基材とする。

(3) エタノール生産技術調査

1) バイオマスエタノール製造技術

バイオマス原料であるサトウキビからのエタノール生産技術については、当社グループにおける研究開発の実績もあり、文献調査、ヒアリング調査を含めて以下の結果を得ている。

サトウキビの圧搾工程にて、砂糖の原料となる糖汁(シュガージュース)及び搾りかすである繊維質(セルロース)を含むバガスに分離される。

砂糖を生産する場合には、糖汁からは濃縮工程後の残りかすとしてモラセス(廃糖蜜)が得られ、モラセスから発酵工程を経て、エタノールを製造する。砂糖を生産しない場合の糖汁はそのまま発酵工程でエタノールを製造する。

バガスは工場内の燃料及び肥料・飼料として利用されている。

バガスからエタノールを生産する場合には、前処理工程にて不純物を分離した後、繊維質（セルロース）は糖化工程（加水分解反応）にてグルコースとし、発酵工程（酵母にて発酵）に送られる。

糖化工程の加水分解反応は酵素によるバイオ技術による方法と硫酸を使用する方法がある。

前者は経済性を考慮すると、まだ完成された技術とは言えないが、今後のコストダウンが期待される技術として注目されており、本プロジェクトでは採用することとした。酵素の分離には、膜分離を採用する。

得られるエタノールは5%程度の水分が含まれている。ガソリンに混合するには無水とする必要があるため、脱水工程が必要となる。

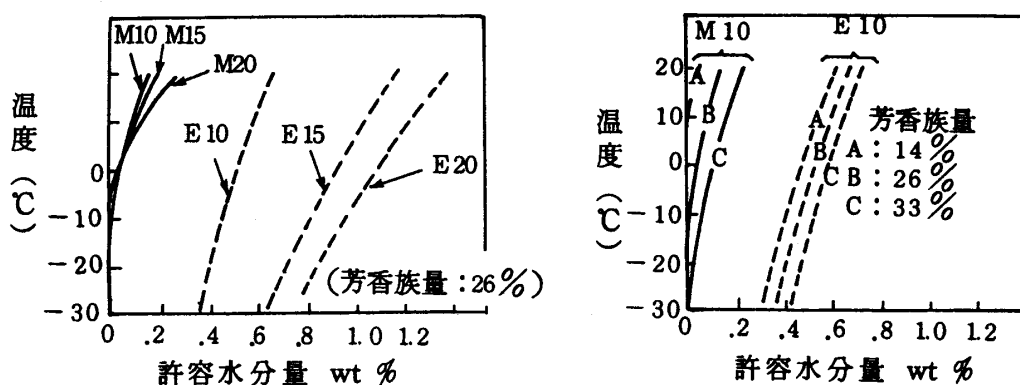
2) ガソール製造技術

蒸留後のエタノールは水との共沸化合物を形成することから 5vol% (7wt%) 程度の水分が含まれている。ガソリン中にエタノールを混合する場合に、水分が混入すると温度によって大きく影響を受けるが、ガソリンとエタノールは相分離する可能性があり、エンジン性能への影響が生ずる。

図 3.1.1 に示すように、温度が低い程、またメタノールの方が分離し易いことが分かる。またガソリンの基材の影響としては芳香族量の増加により許容水分量（相分離しない水分量）が増加することが分かる。

なお、相分離を防止する方法として、イソブタノールを 3% 程度添加すると約 2 倍の吸水に耐えられるが、コストが高くなる。

図 3.1.1 アルコールの種類、混合比率、ガソリン組成の影響



(注) M : メタノール、E : エタノール、数字はアルコール分の混合比率を示す。

(出典 : 「バイオマスによる燃料・化学原料の開発技術資料集」フジ・テクノシステム 1981 年)

以上のような理由から、ガソホルの場合には通常、蒸留後のエタノールを更にベンゼン等を加えた3成分の共沸蒸留により無水エタノールとする必要があるが、ニートの利用では相分離の問題が無いことから、含水の95%エタノールの使用で問題はない。

ガソホルの導入している例としては、事前調査の項で記したように、ブラジルが22vol% (23wt%)の混合及び米国の中央部農作地帯で広く使用されている、10%混合の例がある。95%エタノール(ニート(neat)・エタノール)燃料はブラジルでは導入しているが、燃料供給システムを含めたエンジンの改造等を行っているエタノール自動車を使用されている。

(4) 自動車への影響

エタノールとガソリンの物性値については表3.1.2に示すように、エタノールの主な特徴として、オクタン価が高いこと、沸点が78とガソリンの30%留出温度に近いこと、発熱量は約60%程度であること等が挙げられる。このため、オクタン価向上剤である鉛化合物の添加の削減は可能であるが、低温時の始動性、燃費の悪化等の課題がある。また、使用材料面への影響の課題もある。

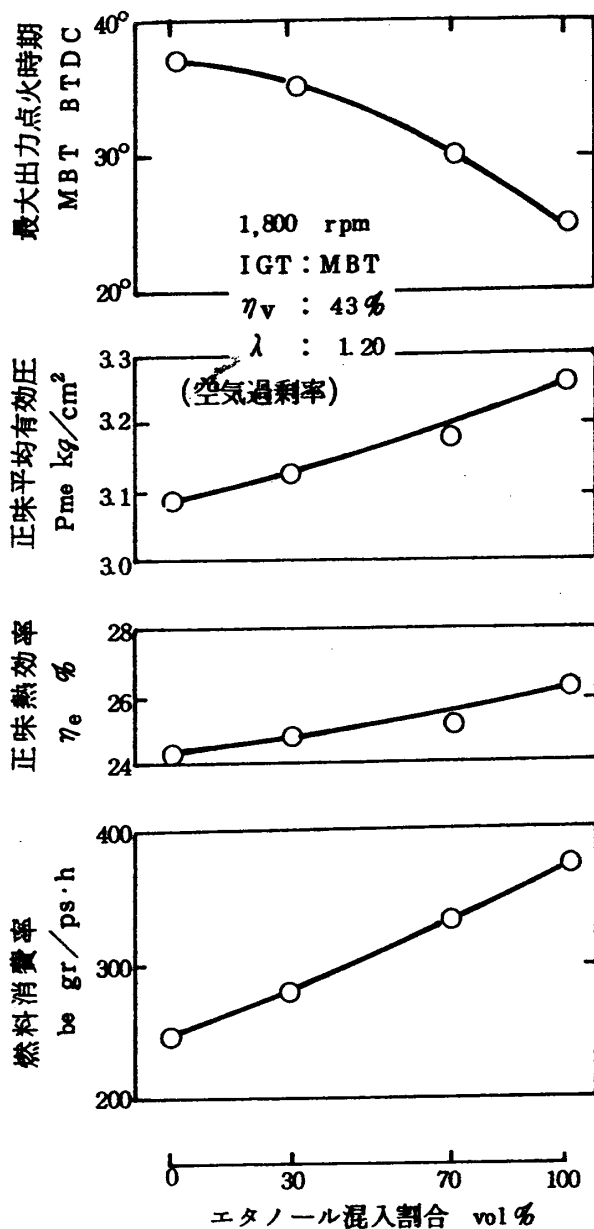
表 3.1.2 エタノールとガソリンの物性値

	エタノール	ガソリン (イソオクタン)
化学式	C ₂ H ₅ OH	C ₈ H ₁₈
分子量	46	114
比重	0.79	0.70
単位発熱量 (KJ/kg)	26,800	44,400
オクタン価 (RON)	106	100
(MON)	89	100
セタン価	8	12
沸点()	78.3	99.4

1) エタノール混合ガソリンを使用する自動車

エタノール混合ガソリンを使用する自動車として、多くの研究結果があり、例としてエタノールの混合比率を変化させた場合のエンジン単体性能試験結果を図3.1.2に示す。

図 3.1.2 エタノール混合割合と最大出力点火時期、正味平均有効圧、正味熱効率、燃料消費率



(注) MBT: Minimum Advance for the Best Torque 最大出力点火時期

(出典:「バイオマスによる燃料・化学原料の開発技術資料集成」フジ・テクノシステム 1981 年)

最大出力点火時期、正味平均有効圧、正味熱効率、燃料消費率(燃費)を空気過剰率一定の条件で測定したものであるが、エタノールの混合割合が増加するに従って、出力(正味平均有効圧)

が増加する。これはエタノールの気化潜熱により、吸入空気温度が低下して吸入空気量が増加するため、燃焼速度の増加による燃焼効率の向上によるものである。一方、エタノールの単位重量当りの発熱量がガソリンに比べて 60%程度に過ぎないために、エタノールの混合割合の増加により燃料消費率は増加する（燃費は悪くなる）。しかし、現在のエンジンでは電子制御燃料噴射装置を装着しており、点火時期調整糖が可能になり燃費の向上が可能になっている。

ブラジルの 22vol%混合ガソリンの場合には特にエンジンは改造しないで、通常ガソリン自動車もガソリンにも使用されている。エタノールの混合により、ガソリンの基材の選択が変わることになる。高オクタン価であることからアロマ分の低下も可能である。

2) エタノール自動車

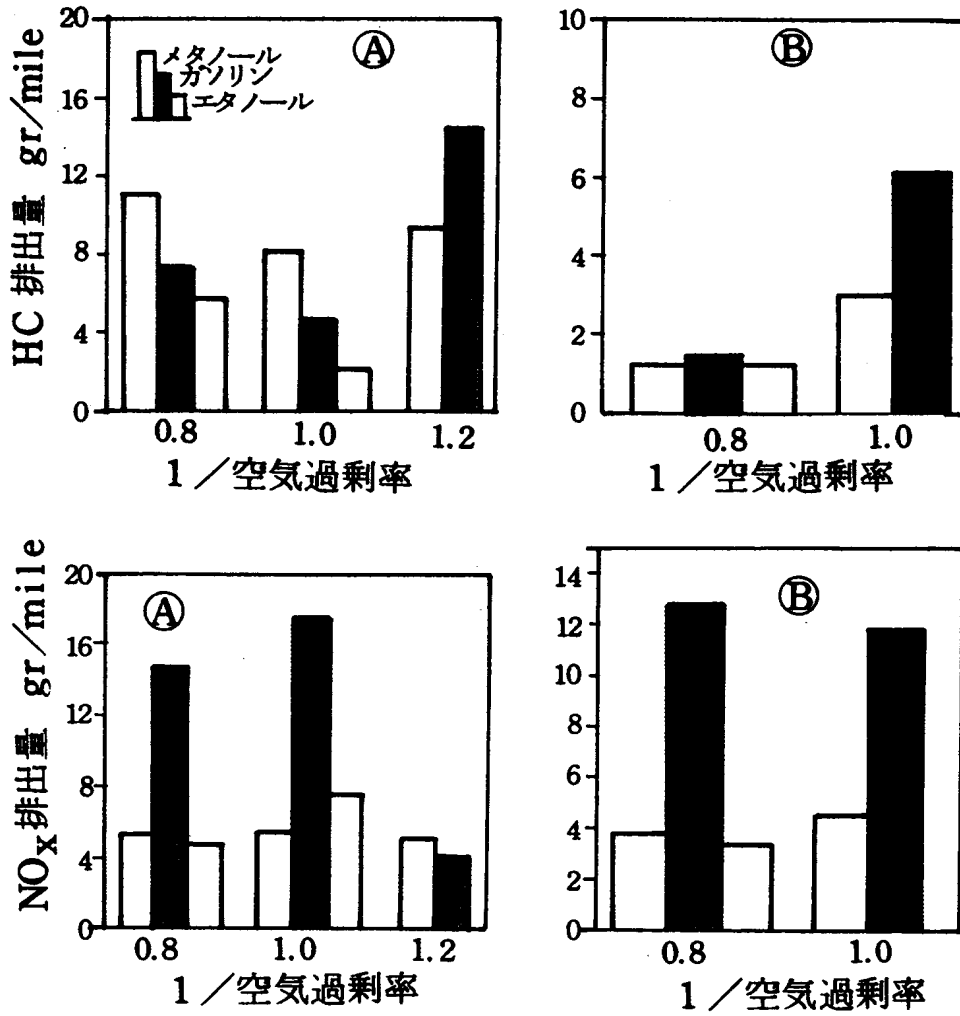
エタノールはオクタン価が高いことから圧縮比が 10.5-13 まで高められ (ガソリン車では一般的に 9 以下)、発熱量の低下分を一部相殺する効果がある。また単一物質であり、沸点が 78.3 であることから、低温では蒸気圧が低くなり (ガソリンの蒸気圧と同等になる限界温度は 15 以上)、気化器周辺の温度に影響される。周辺温度が低い始動時の対応として、始動用補助装置 (ガソリンを使用する dual fuel system 等) が用いられる。ブラジルでは 1981 年からのニートエタノール自動車の導入にはフォード、GM から発売され、dual-fuel 方式が採用された

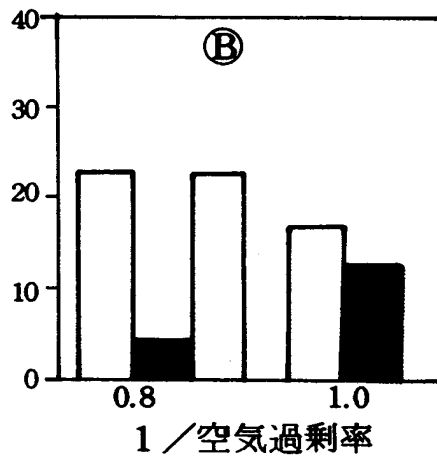
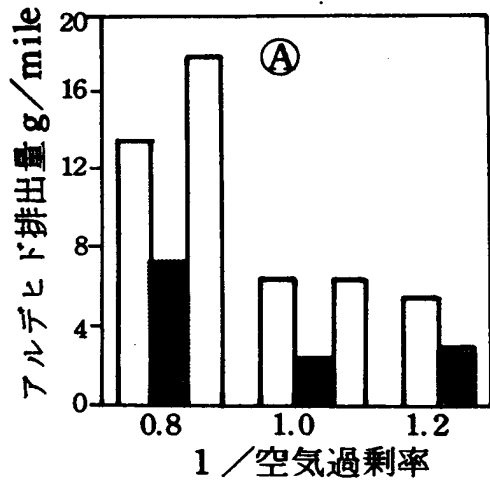
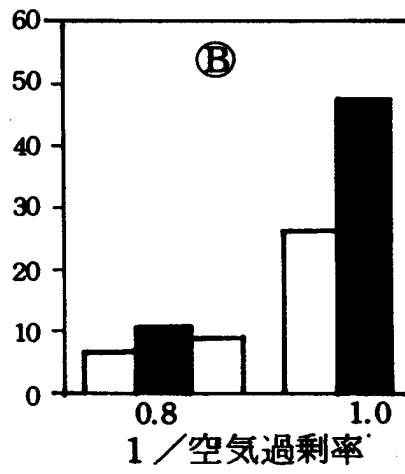
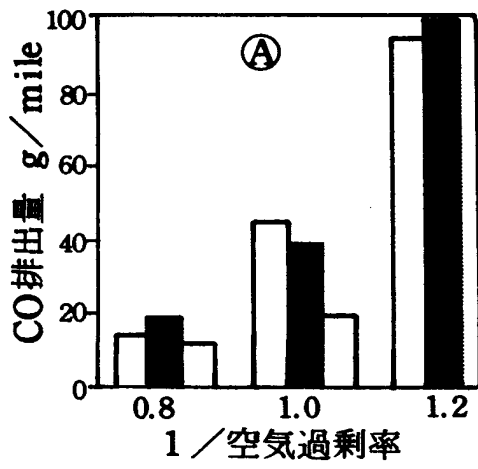
材料面については、エタノールは OH 基を持っているために極性・水和性が有り金属に対して腐食性があり、鋼、アルミ、鉄に対する腐食が問題となる。燃料系統では、金属のほかに樹脂、ゴム、接着剤が使用されており、これらの強度・物性の低下、膨潤、浸透等の問題がある。

3) 排ガスへの影響

エタノールは含酸素燃料であり、排ガス性状も変化する。各種データがあり、条件等を明確にして議論する必要があるが、ここではテストニート・エタノールによるカリフォルニアの LA-4 での走行テストの例を図 3.1.3 に示す。この結果では、NO_x はガソリンの 1/2、HC、CO はガソリンよりわずかに低いが、アルデヒドは 2 倍となる。しかし、アルデヒドはアセトアルデヒドであり、ホルムアルデヒドよりも毒性は低い。

図 3.1.3 走行テストによる排出ガス性状





(出典:「バイオマスによる燃料・化学原料の開発技術資料集成」フジ・テクノシステム 1981年)

3.2 専門家ヒアリングによる現状把握

(1) バイオマスエタノール製造技術に関するヒアリング調査

1) アルコール協会

(a) 米国のアルコール生産プロジェクトの現状

協会が纏めた「バイオマス利用技術海外研究動向調査報告」(米国の稲ワラエタノール 2001年工業化計画)の調査報告資料に基づいた内容の概要は以下の通り。

表 3.2.1 に示すように、6つの工業化プロジェクトがスタートしており、原料はバガス、都市ごみ、稲ワラ、農業廃棄物等であり、年間生産量は 30,000~76,000kl/Y である。

表 3.2.1 米国のアルコール生産プロジェクト

Company Project location	Startup	Technology	Feedstock	Ethanol Production
BCI Jennings, LA	2001	Two-stage dilute acid	Bagasse	76,000kl/Y
Masada Middletown, NY	2001	Concentrated acid	MSW	38,000kl/Y
Arkenol Sacramento, CA	2001	Concentrated acid	Rice straw	46,000kl/Y
BCI/Gridley LLC Gridley, CA	2002	Enzymatic	agricultural wastes and wood wastes	76,000kl/Y
Sealaska Southeast Alaska	2003	TBD (未定)	Softwood wastes	23,000~ 30,000kl/Y
BCI/Collins Pine Chester, CA	2003	Enzymatic	Softwood wastes	76,000kl/Y

(出典:「バイオマス利用技術海外研究動向調査報告」(その1) 斉木 隆)

() Arkenol 社の開発プロジェクト

- ・ 稲ワラを濃硫酸で加水分解(1ステップ 40%、70%濃度、2ステップでは 100%、30%濃度)し、濃硫酸と糖の分離にはイオン交換樹脂を使用する。
加水分解容器の腐食対策には金属タルタンを使用している。
- ・ DNA 組替え技術で育種したジモノナス・モブリスを用いて発酵させる。
- ・ 糖濃度は 15%、30 時間で発酵は終了する。
- ・ 原料稲ワラは 20 ドル/トン(2 円/kg)での購入契約を前提とし、製造コストは 39.2 円/l(1.26 ガロン/l)となり、シリカ等の副産物収入を考慮すれば 14.5 円/l になる。
46,000 kl/Y 生産能力の建設費は 90 億円と推定される。これらの建設費には廃液処理としてのメタン発酵工程分も含まれているとのことであった。

- ・バガスの場合には 28.5 円/ l、副産物収入控除後で、21.5 円/ l となる。
- ・スタート・アップは 2002 年となっている。

() BC International 社のプロジェクト

- ・バガスを原料とし、希硫酸による加水分解工程、発酵は DNA 組替え技術の大腸菌を使用している。
- ・当面は硫酸法であるが将来は酵素法を考えており、セルラーゼの改良(使用量の削減)に関心がある。
- ・生産能力は 76,000 k l /Y、バガス原料費としては 4.9 円/ l となり、原価償却費控除前で 33.2 円/ l、控除後で 22.7 円/ l (0.72 ガロン/ l) と試算している。建設費は 80 億円と推定される。
- ・スタート・アップは 2001 年となっている。

() NREL (National Renewable Energy Laboratory)の技術目標

- ・エタノール生産コストは 2015 年で 19 円/ l、セルラーゼ活性を 10 倍に高度化、発酵に用いる微生物は DNA 組替えによる育種改良を前提としている。

コメント：2001 年計画は少し遅れているようだ。バイオマス原料としては、都市ゴミのケースもあるが、稲ワラ、サトウキビが容易である。

(b) エタノール設備能力

原料調達の問題が大きい。周辺からのみの調達による最大能力となる。70,000kl/Y はかなり大きい。

(c) 糖化技術

- ・酵素法はまだ無理だろう。当面は酸加水分解法になる。SSF についても不明だ。

(d) 廃液処理問題

- ・糖蜜からの廃液は色も黒く、処理が大変。国内のエタノール工場も糖蜜処理を止める方向にある。メタン発酵は国内ではやっていない。

(e) ブラジルの状況

- ・ガソリンへのエタノールのブレンド比は 22% であり、95%エタノール燃料は減っている。
- ・サトウキビは野済みによる腐敗の問題がある。
- ・原料はサトウキビで、バガスを原料とするエタノール工場はない。大型エタノール工場は砂糖

工場に隣接している。

入手文献：「バイオマス利用技術海外研究動向調査報告」(その1,2,3) 齊木 隆
「世界で進展するバイオマス利用」森川 康、
バイオサイエンスとインダストリー Vol.58 No.4 284 (2000)
「アルコール発酵(酵母)」

2) 長岡技術科学大学

国内,バイオマス糖化技術の権威者である長岡技術科学大学工学部の森川康教授を訪問し、バイオマスからエタノール生造技術一般についてヒアリングを実施した。その概要は以下の通り。

(a) 米国3プロジェクトの状況

- ・エタノール生産規模は4~70,000kl/y(協和のプロジェクトも50,000kl/yである)。
- ・生産コスト30円/lとしても税控除(tax credit)分14円/lを考慮すれば20円/l台になり現状ガソリン価格と同等になる。
- ・カリフォルニアに対し550万kl/yを供給する計画がある。
- ・3プロジェクトとも酸加水分解法であり、BCI、Masadaプロジェクトは稀硫酸法であり、Arkenolプロジェクトは濃硫酸法である。
- ・稀硫酸法は酵素法への転換は可能であるとしている。
- ・都市ゴミ(MSW)ケースの建設費は175億円(35,000kl/y)。

(b) セルロースからの製造

- ・澱粉はアミラーゼで、アモルファス体であり、セルロースはセルラーゼで結晶体である。セルラーゼはアミラーゼと、効率面で50-100分の1であるが活性面で10倍となり、セルロースからの方法は澱粉に比べて全体として5-10分の1に下がる。
- ・エタノールの収率も澱粉は1/2であるが、セルロース系は糖化される分として2/3であるので収率も1/3になる。

(c) 今後の研究課題

- ・酵素組成の変更
- ・発酵温度の高温化：
37以下を50まで上げられればSSF(Simultaneous Saccharification and Fermentation)が可能となる
- ・原料バガスの爆砕方法：副産物の有効利用、米国では副産物は燃料に使用

・省エネ対応としては効率のよいバガス・ボイラーの採用

(d) その他

- ・RAPAD (新燃料技術開発研究組合) の試算では分離の新技术 (フラッシュ蒸留、UF・RO膜等) を採用している。酵素分離等に膜を採用している。
- ・エタノール原料として容易なものは稲ワラ、バガスである。稲ワラはシリカが 10%含まれている。

入手資料：平成 12 年度 JBA アルコール・バイオマス研究会講演会 予稿集原稿
(森川教授報告分)

(2) エタノール工場ヒアリングによる現状把握

1) NEDO アルコール工場

新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の千葉アルコール工場を訪問し、わが国のエタノール生産の実態についてヒアリングを行った。

国内にはエタノール生産工場は 7 箇所 (千葉、石岡、磐田、近永、肥後大津、出水、鹿屋) あり、アルコール専売法に基づき、工業用アルコールを製造している。原料は澱粉質 (サツマイモ等) 及び糖蜜であるが、エタノール発酵の製造を行っているのは、出水、鹿屋のみで、千葉工場では現在は粗アルコールからの蒸留のみを行っている。

アルコールの規格はエタノール分及び品質に応じて、99 度 1 級、95 度特級及び 1 級がある。99 度 1 級は主として化学工業用、95 度特級は高純度の品質を要求する試薬や香料等、95 度 1 級は食品関係を中心に多くの用途に用いられている。

千葉工場では粗エタノールを海外から輸入し、蒸留して製品にする。製品生産能力は 33,000kl/年であり、99 度の無水エタノールの共沸蒸留にはシクロヘキサンを使用している。

排水処理は活性汚泥処理のみである。

3・3 現地調査方法の検討

3.1、3.2の項に記述した事前調査を踏まえ、現地調査は以下の内容とする。

- 1) サトウキビ栽培地の状況
- 2) 砂糖及びエタノール工場の状況
- 3) サトウキビの生産可能性
- 4) ガソリンの需要見通し
- 5) 現地の生産コスト
- 6) 現地の関心度

4 現地調査

4.1 ベトナムの地球温暖化対策の政策・方針

ベトナム現地における地球環境問題への対応状況について、英国の共同研究者を含めた CERED (環境研究教育・開発センター：Center for Environment Research Education and Development) の Dr. Nguyen Huu Ninh 所長名による総括的な報告があり、これを中心にその内容を以下に紹介する。

(出典：“Global Warming and Vietnam”, Sarah Granich, Mick Kelly, Nguyen Huu Ninh
Sponsored by Stockholm Environment Institute and Swedish International
Development Authority, 1993)

(1) 地球環境問題への対応

1) ベトナムにおける地球温暖化の影響

ベトナムでは長期開発計画を策定するに当たって、気象変動、海面上昇、植物繁茂の損失の可能性およびその他の多くの地球環境変化の影響を考慮する必要性に迫られている。しかし、地球温暖化への対応は、科学的に不確実な多くの複雑な因子が影響し、どのように地理的地域や活動の部門が影響を受けるかの確認することを難しくしている。また、直面する優先的開発課題に対応するために、必要な人的、技術的および経済的な資源を地球温暖化問題に投入することが難しい状況にある。

1991年11月にハノイで地球温暖化および海面上昇の影響に関する国際会議が開かれ、長期的な気象変化への対応が持続的発展のため国の政策形成に必要であるとされた。その後、多くのベトナムの科学者や政策立案者によって対応策が進められている。

(a) 地球温暖化の原因

ベトナムでは1980年代後半に石油の生産が開始され、国土利用に大きな変化をもたらし、大気中への炭酸ガスの放出量が従来の10倍以上増大し、これが地球温暖化への影響を代表している。

農業活動においても、大気中に温室効果ガスを放出している。例えば、食用牛、酪農牛、山羊および羊のような草食の消化システムで、メタンが発生している。また、稲田のような水の存在する地域における有機物の分解によってメタンガスが発生する。米作によって大気中に放出されるメタンの割合は全世界のメタン発生量の五分の一以上とも言われている。

(b) 気候変動

ベトナムでは、多くの観測点における気象記録が19世紀後半に開始された。これらの気温の記録によれば、1895-1970年の75年間、気温は相対的に一定に保たれていた。急激な温暖化は1970年代から始まっている。この期間の温暖化は0.27℃になっている。全体としてこの地域では、温暖化は春の月々に最大になっている。過去30年間の観測による詳しい分析によれば、近年では南部において気温が高い傾向にあり、夏期に最も顕著な傾向にある。

降雨量については今世紀になってから観測されている。1960年代以降はベトナムの北部において年間降雨量が増加し、南部では減少している。

政府気象観測機関 Hydrometeorological Service は水の利用可能量を長期に亘って研究している。この研究では、1940年代および1950年代に紅河およびメコン河の両河の流量に顕著な減少が分かった。1960年代末から現在まで、Lo河の流量は増加している。ラオスのビエンチャンにおいて、メコン河の流量の計測でも、1960年代の流量の増加が示されている。

流量のこれらの傾向は、これらの河の集水地域における人間の活動の影響と気象変動の複合影響によるものである。今世紀全体にわたった関連降雨量データの分析では、時間と場所によって一定傾向の変化のパターンを示している。この傾向の主な特徴は河の流量変化の評価と一致している。

異常天候発生リスクは長年に亘り変化してきている。Hydrometeorological Service によって収集されたデータによれば、ベトナムに影響する熱帯性サイクロンの数が1950年代以降増加している。ベトナム北部および南部における低地平野部の主要観測点における長期間のデータでは海面上昇が観測されている。北ベトナムの海岸 Hondau で最も長期的な最も信頼性のある記録がある。1955-1990年の間この観測点で年間0.19cmの海面上昇が観測された。このことは地球平均海面上昇記録において広く認知されていることである。南ベトナムのブンタオの観測点では違った傾向がある。このことはこの観測点の場所が移動したことによって信頼性がないと思われるが、中部ベトナムの観測点でも Hondau と違った傾向を示している。現時点で、気象や海面レベルにおけるこれらの過去の傾向が地球温暖化や自然気象変異性の結果によるものか、あるいは両ファクターの結合によるものか、決めるのは困難である。原因はともかく、ベトナムの気象が既に顕著に変動しており、開発計画を作成する時に考慮に入れるべき要素となっている。

(c) 今後の気象変動の影響

気温上昇と降雨量変動

2100年までの期間にわたってベトナムの気象の変化を概略評価するために、気象変動予測モデルが作成された。予測は、ハノイやホーチミン市周辺地域に対する温度や降雨量の傾向を概略の範囲でなされている。予測は1992年のIPCC評価に基づいている。

最もありそうな予測によれば、ハノイ地域における年間温度上昇は、2050年までは1℃、2100

年までは 2.5 上昇する。これは過去 80 年間に経験した温暖化速度の約 10 倍である。最も厳しい予測が正しいとすれば、温度は 21 世紀末までに、年間 4 以上上昇する。

降雨量の地域変化に関する限り大きな不確実性がある。ハノイ地域における降雨量は増加傾向にあるとの見通しであるが、今日の平均降雨量の -15% ~ +30% の範囲である。最もありそうな予測は、2050 年までに 2% 程度、2100 年までに 5% の増加である。

ホーチミン市の将来予測によれば南部の温度および降雨量の変化はそれ程大きくないとされている。最も有りそうな予測によれば、21 世紀末までに温度は約 2 上昇し、降雨量は僅かに増加する。しかしながら、2100 年までに温度上昇 3.6 、降雨量 5% 減少、というもっと厳しい気象変動の可能性もある。

国全体、特に南部における、温度上昇による水の蒸発の増加によって、利用可能な水が減少すると予測される。このことは旱魃頻度の増加と気象変動の主要な影響を立証することになる。また熱帯サイクロンの数は、気象変化と地域変化の影響により、発生頻度の増加と、強さが増すと予測される。

海面上昇

2100 年までに、地球の平均海面は現在のレベルより、32 - 64 cm 上昇と予測されている。最も有り得る予測では 45 cm の上昇である。Hondau では、もし今の傾向が続けば約 20 cm の上昇であるとしていたが、2100 年までに 64 cm まで海面レベルが上昇することを意味する。

海拔 1 m 以下の沿海地方はベトナムの約 3,000 km の海岸線の大部分を構成している。海面上昇は、これらの沿海地方に、特に南北の二つの低地デルタ地帯に厳しい脅威となる。21 世紀には海面の上昇がベトナムの国民と国に深刻な影響を与える。

海面の上昇は、次のような結果をもたらすと予測される。

- ・ 国土の損失
- ・ 嵐の発生を含め、洪水に対する抵抗力の弱体化
- ・ 沿岸および河口における侵食の増加
- ・ 海水の浸入の増加
- ・ 干満のある河の物理的特性の変化

人口の 50% が居住する最も肥沃な農耕地は、低地紅河およびメコン河のデルタ地帯に中心がある。海面の上昇は、この地域の住民の生計および社会経済的安寧に厳しい結果をもたらす可能性がある。生産性の高い耕地を失う可能性がある。沿岸の海老や蟹は移動し、沿岸漁業は消滅し、近接地域の生物物理学的特性は影響を受け、海水によって水浸しになった耕地は農耕に適さなくなる可能性がある。

例えば、稲水田の灌漑は、海水の浸入あるいは塩水の浸入の増加によって厳しい影響を受け、河口や川辺地帯は干満の状況や河の流れの変化によって影響を受ける可能性がある。

沿海地帯の生物学的資源は、社会経済的発展の重要な基盤である。沿海地帯の生態系バランス

は科学的研究や海岸保護に重要な役割を提供している。

ベトナム沿海の広範囲で多様な植物群および動物群は大きく減少し、特徴ある生息地が多分消滅するであろう。マングローブ林等の低湿地帯における重要な生態系は相当程度かあるいは完全に消滅する可能性がある。

河口の沼地帯は、鳥類の生息地および休息地であり、これらが海面上昇によって脅威を受けるであろう。海亀が産卵する砂の部分は海水で水浸しになって消滅してしまうであろう。さんご礁も影響を受けるであろう。

ベトナムで実施された最近の研究は、海面レベル上昇による顕著な影響は既に始まっているとの見方がある。前世紀からのデータによれば、Cau Mau 海岸地帯では、600 ha 以上が Bo De 河の河口から、ある場所では 200 m 幅の土地が消滅している。

観測によれば、海水の浸入の増加はマングローブ林では、種の分布に少しつつの変化をもたらしている。マングローブ林が減少すればする程、海水の浸入および近隣地帯の侵食の影響が大きくなり、嵐による洪水に対し弱体化する。

海面上昇の社会および経済的影響は広範囲なものである。港湾設備は作り直すことになるかも知れない。沿海産業は消滅するかも知れない。輸送は混乱する。飲料水の確保は海水の浸入次第で影響を受ける。

洪水の増加により影響を受けやすい沿海地帯において生活している地域社会は場所を移動しなければならぬかも知れない。このことは残った土地に影響をおよぼし、新しい農業地の開拓のため、森林破壊と生態系の劣化をもたらす。

植物の多様化は衰え、土地の侵食は増加し、結果として洪水の頻度が高くなる。

森林破壊

海面の上昇は湿地帯や低地帯を水浸しにし、海岸線を侵食し、海岸洪水を悪化し、河口と帯水層を塩水化し、何よりも水質を悪化させる。湾や河において潮流を変え、河川の堆積場所を変化させる。植物種の繁殖地帯は変化し、マングローブ林のような生態系は消滅することになる。浅瀬の水の物理的・形態的な特性は、大きく変化し、生態系の機能を低減させる。鳥の生活、魚の産卵のような資源は完全に消滅する。

200,000 ha 以上もあるマングローブ林は多くの生物種に対し豊かな生息地を与えている。海老、蟹や魚のような海産物の供給は、地域共同体の生計に大きく貢献している。マングローブ林は、形成から成熟まで 100 年から 1000 年も掛かっている。海面の顕著な上昇は、この地域に生息し依存する全ての生物種を犠牲にする。

気象変動と海面上昇は海亀の産卵地である沼にも影響を与え、またさんご礁の生育にも影響がある。

マングローブ生態系

ベトナムの気候はマングローブ林の成長に非常に適している。自然に現存する生態系の一部とし

て、マングローブは海岸および河口地帯の環境保全に重要な役割を演じている。さらに賢明な管理によって、マングローブ生態系が作り出す豊富な資源は地域共同体に対し生計の開発に大きな助けとなっている。将来の海面上昇の脅威に対して、マングローブ生態系の弱点につき検討を始める必要がある。1960年代以前、ベトナムにおけるマングローブ林の推定面積は400,000 haであった。1962-1971年の間に、米国による毒化学物質の散布は104,123 haに減少した。それ以来、農業需要と薪や木炭の過剰開発によって、更なる減少が始まった。堤防増設によって、大きな面積のマングローブ林を水田や農地に転換することは、潮流水の表面に制限を加え、また現在の海面上昇の原因になっている。

湾、岬によって囲まれている河口、狭い海峡あるいは群島によって囲まれているような狭い水域や少し静かな場所で、マングローブ林は成長する。塩分がマングローブ林の成長と分布に最も重要な決定因子の一つである。塩濃度が飽和濃度の20~35%の場所で、マングローブは成長する。高過ぎる塩濃度(40-80%)では種の減少や小型化する。塩濃度90%に達する場所では、数種のものしか存在せず、しかも成長が遅い。天然のマングローブは塩分が低過ぎる場所では見ることが出来ない。マングローブはその生長期間ある程度の真水が必要である。河、水路からの真水や雨は海水の塩分を薄め、マングローブ生長のある特別な期間多くの種に適した塩水を造る。海面が上昇したり、河の流れが変わったりすると、マングローブ地帯の塩分や真水の分布が変化するであろう。

農業生産

地球温暖化は農業生産に厳しい影響をもたらすであろう。収穫量および品質が影響を受けるだけでなく、穀物を気象条件の変化に従って、異なる場所で生育せざるを得ない。

農業生産は、次のような現象により影響を受けるであろう：

- ・ 海面上昇
- ・ 極端な気象現象（台風、旱魃、洪水および北部における突発的な寒気）の変化
- ・ 地域的な気象変化（温度上昇、降雨量変化と南部における砂漠化）
- ・ 肥沃な土地の侵食と変化
- ・ 大気中CO₂の増加に対する影響

海面上昇はベトナムの農業にとって大きな脅威である。二大農業地はデルタにある海岸の沿って集中している。海面上昇はこれらの地域に脅威を与え、これら地域の住民に厳しい影響を与える。耕地は減少し、ある耕地は塩水化し、そして住民は移転を余儀なくされ、近隣地域における資源に影響を与えることになる。

過去の気象変動に対する穀物収穫量の関係の分析によれば、ベトナムの食料穀物および加工用穀物の生産性は大きく気象変動に影響する。北部における穀物の生産性は、南部よりもより多くの影響を受け、加工用穀物収穫量は米の収穫量より際立って変化する。

北部地域は、特に紅河デルタは今日の気象変化に最も敏感である。降雨量の変動はこの地域で大きく、旱魃や洪水がしばしば穀物の収量を制限している。中央ベトナムの北部では、嵐のよう

な気象災害が農業に大きな影響を与えている。将来、台風の季節にその厳しさが増加し、より長くなると問題となる。このことは、この地域に深刻な影響をもたらす、風害や洪水の増加に繋がることであろう。

高地では、温度上昇が高地農耕を可能にするかも知れない、しかしながら、ある地域では現在の穀物の成長が完全に失われている。

南部の影響は地球温暖化が進むにつれ現れてくるであろう。ここでは気象は安定していて、農業に対する影響は頻度が低いが、気象変動は早い速度で起こっている。気温上昇による水の蒸発損失の増加につれて、南部における旱魃の発生率の増加は地球温暖化の大きな影響によるものとなるだろう。育成される穀物の種類が減るであろう。

将来の傾向を考慮に入れれば、メコンデルタや中央地域北部は、地球温暖化の結果として、問題が発生する最も弱い所であると考えられている。

(2) 政策およびアクションプラン

1) 政策

人口の成長率は年間 2% 以上であり、人口一人当たりの経済成長速度の増加が必要である。この人口統計学的な圧力は重い。そしてベトナムの政策は変化する世界条件を反映しなければならない。経済政策は気象条件および海面上昇を考慮しなければならない。

旱魃、暴風雨および他の異常気象の増加が見込まれ、そして土地面積の減少が見込まれているので、注意深い検討が要求される。気象変動と海面上昇に対する弱点を克服する戦略を考慮する。

- ・ 海岸の生態系をコントロールする。
- ・ 植物の多様化の保護を考慮する。
- ・ 弱点地域における生産性を持続するための技術的方法に注意を払う。
- ・ 気象変動および予防方法に関する研究を進める。
- ・ 健康に対する気象変動の影響を考慮する。
- ・ 社会の自覚を高め、全ての人に認識させる。
- ・ 海面の研究を進める。
- ・ 国および国際レベル、特に東南アジア季節風帯の国々と協力関係を促進する。
- ・ 気象変動および海面上昇に対処するために、現在の組織機構を修正する。

2) アクションプラン

気象と気象変動問題に対するベトナムのアクションプランは Hydrometeorological Service によって策定されている。アクションプランは二つの主要な役割を持っている。第一は、気象変動

を考慮に入れた社会・経済開発戦略の作成における支援である。この目的は開発要求と環境保護のバランスを取ることである。また、地球戦略も考慮に入れられる。第二は、地球温暖化の原因となる温室効果ガスの排出を抑制することである。

主要なアクションプランは以下の通りである。

- 観測網の強化と気候変動の制御 -

気象問題に対する国家委員会を設立する。アクションプランを拡張し、その中で気象変動研究計画を管理する。温室効果ガスの排出を低減するために近代技術の利用を支援する。海面上昇の影響を受ける沿岸地域に対する経済発展戦略を立案する。

この作業のためのデータは、Hydrometeorological station の大きなネットワークを通して収集される。これらは 83 簡易観測点、86 気象観測点、90 水利観測点、163 段階観測点、21 海洋観測点、50 水環境観測点および 20 大気環境観測点を含んでいる。World Weather Watch System 下の 30 観測点もある。これらの観測点はベトナム全土に分布している。

- 国際協力 -

Framework Convention on Climate Change (FCCC) と作業をするか、International Decade for Natural Disasters Reduction に対し積極的に対応することによって、国際協力を強化する。気象の国家委員会は気象と気象変動に関する国のコーディネーション作業に責任を持っていて、気象変動の影響を処理する国の政策を策定し、気象と気象変動における国際協力の積極化を図る。

- 研究計画 -

国のアクションプランの下に、気象変動研究計画がある。このネットワークシステムは、気象、天気、水利および環境に関する多くのデータを蓄積している。また、農業、林業、農業、建設、運輸、工業および健康のような社会・経済活動にも役立っている。ベトナムにおける気象変動および環境の研究のために使用される唯一のデータバンクである。

この情報はベトナムにおける気象変動のレベルを評価するのに使用され、そして温室効果ガス放散の抑制方法の提案に使用される。他に、ベトナムにおける社会・経済活動および環境に対する気象変動の影響見通し、および気象変動に適応する方法の開発研究がある。

(3) クリーン開発メカニズム (CDM) に対する政策・方針

現地調査では、科学技術環境省 (MOSTE: Ministry of Science Technology and Environment) を訪問し、Dr Le Dung 次官と面談する機会を得た。その時の先方からの CDM 事業等に関する説明の概要は以下の通りである。

CDM 事業については良く知っており、協力したい。

MOSTE には 1993 年に環境法が制定されたときに環境局が設置された。炭鉱地の環境、水力発電の環境破壊問題についての国際的な協力を要請している。

新エネルギーへの関心があり、風力等を活用したい。

また、MOSTE より CDM に対する政策・方針に関する資料を入手したので、その内容を以下に紹介する。

1) クリーン開発メカニズム (CDM) に対する政策・方針

人間の活動は CO₂、NH₄、NO_x 等の温室効果ガスを環境中に増加させ、地球の表面と大気中の温度を上昇させ、自然の生態系や人類に悪影響を与える。1992 年リオデジャネイロで開催された地球サミットにおいて気候変動に関する国連の条約が採択された。この条約は、GHG の排出を削減することを強調している。これは先進国の経済的な優先権に影響を与え、経済発展に障害があると考えられる。

1997 年の京都議定書は、先進国の温室効果ガスの排出量を 2008 から 2012 年までに 1990 年に対して 5.2% 削減することとしている。温室効果ガスの排出量を削減することは先進国にとって困難なため、京都議定書ではクリーン開発メカニズムを提案している。このメカニズムに従って、先進国は排出量を温室効果ガスの削減するために発展途上国に投資を行うこととなる。

(a) ベトナムと国連の気候変動の一般条約

ベトナム政府は経済発展の要求と環境への影響に大きな関心を持っており、1991 年から 2000 年の安定成長と環境のマスタープランを UNEP、UNDP、SIDA (スウェーデン国際開発援助) からの援助で完成させた。また、環境保護のための環境保護法が 1993 年に承認された。

ベトナムは国連の気候変動条約を 1994 年 11 月 11 日に承認し、この条約に同意することを公約している。

(b) ベトナムにおけるクリーン開発メカニズムプロジェクトの可能性

() エネルギー分野における温室効果ガスの排出の対策

消費の改善策として調理の効率改善、蛍光灯、高効率冷蔵庫、エアコンの効率改善等がある。供給側の改善として発電における燃料転換、風力発電がある。

森林については森林循環の強化、森林の再生、自然林の保護、伐採後の再植林を行う。

上記の対策により CO₂ の削減は 4,539 トンに相当する。

() 農業分野における温室効果ガスの排出の対策

灌漑の整備により 2030 年までに 5.5 百万 ha の水田が管理できるようになり、メタンの排出量は 50kg/ha/年の削減になる。総排出削減量は 5,500Gg となる。

(c) クリーン開発メカニズムのプログラム

もし、プロジェクトが国の安定成長に寄与し、国の優先課題に合致すればクリーン開発メカニズムのプロジェクトとして考慮できる。しかし、次の基準を満たさねばならない。

- ・ 国の利益に合致すること
- ・ 効果が測定可能で長期間持続すること
- ・ 温室効果ガスの排出量が減少すること
- ・ 環境に影響を与えないと保障された技術であること

現時点ではクリーン開発メカニズム実施に当たっての原理、規制、方法は決まっていない。2000 年 11 月にオランダで開かれた COP6 (第 6 回国連気候変動枠組条約会議) において議論されたクリーン開発メカニズムが具体化され、2002 年までに京都議定書が発効することを望んでいる。

(d) 結論

発展途上国のためベトナムは気候変動枠組み条約と京都議定書が要求する排出削減には誓約しない。ベトナムの人口当たりの化石燃料消費量と CO₂ 排出量は他の国々と比べて低い。クリーン開発メカニズムはベトナムのような発展途上国に対するの温室効果ガスの排出削減プロジェクトから利益を得ることが認められている。クリーン開発メカニズムプロジェクトによって発展途上国は協約の最終ゴールに寄与することができる。そのためには、クリーン開発メカニズムプロジェクトの考え方を政策決定者や国民が十分に理解し関心を高めることが必要である。

4.2 ベトナムの地理・社会・経済

(1) 地理・気候

1) 地理及び概況

ベトナムはインドシナ半島の東側に南北に1,650キロに伸びた細長いS字形をした国で、北を中国、西をラオス、カンボジアと国境を接している。面積は約33万km²でわが国の約90%の国土を有する。国土の約4分の3は山岳地帯で、北部ハノイ周辺と南部メコンデルタ地帯に平地が広がっている。

人口は7,806万人(98年)で人口増加率1.88%と高く抑制政策を進めている。民族の90%はキン族(ヴェト族)が占め、その他には50以上の少数民族が存在するが、多くは山岳地帯に居住している。

言語はベトナム語が公用語で、6種の声調を有し、文字は元来無かったが、中国の影響を受け、長い間漢字を使用していた。しかし、近年フランス統治時代にローマ字表示が開発されて使用するようになった。

宗教は約80%が仏教であるが、道教、儒教、キリスト教、イスラム教の他、万物に靈魂の存在を認めるベトナム固有の宗教や民間信仰が多数存在する。

国旗は赤字に黄色星の金星紅旗で、1940年の反日、反仏戦争に使用されたのがはじめてある。革命後、1946年に正式にベトナム民主主義共和国の国旗とされ、南北統一後も継承されている。

2) 気候

気候は、北部は亜熱帯、南部は熱帯モンスーン気候で、雨期と乾期の区別が少なく、年平均気温25の暑さである。

ベトナムは北部、中部、南部に区分できる。北部は亜熱帯気候に属し、雨期と乾期の2季からなるがその中間には短い春、秋がある。雨期(夏期)は4月から10月までで、涼しい南東風がある。乾期(冬期)は11月から4月までで、北東風と霧雨を伴う周期的な寒気がある。年間平均気温は23.6で、最低気温は4、最高気温は39.4である。平均の年間降雨量は1,661mmで5月から10月の間に80-85%を占める。

中部は熱帯モンスーン気候に属し、北部と南部の間になる。雨期は6月から11月、乾期は12月から6月で、平均気温は23.5、年間降雨量は1,800-2,000mmである。

南部は熱く高湿度の熱帯モンスーン気候で、雨期、乾期の区別が少なく、平均気温は27、

雨は 12、1 月にはなく、6 月から 9 月までがもっとも多く、年間降雨量は 2,163mm である。雨期は西～南西風があり、11 月から 2 月は北～北東風の風がある。

(2) 政治・経済・社会状況

1) 政治状況

ベトナムは通算 1000 年を超える中国の支配を受け、その後内乱が繰り返された後、1883 年にフランスに統治された。フランスは、1889 年にベトナムにラオス、カンボジアを加えた仏領インドシナ連邦を統治下においた。

ベトナムはフランスの支配に抵抗し、王制復古運動と共産党運動の 2 つに分かれて独立運動を続けた。1945 年、日本の敗戦を機にベトナム民主共和国は独立を宣言したが、ポツダム宣言の結果、16 度線を境に北を中国、南をイギリスが日本の後を引き継いだため、ベトナム政府は国際的に承認されなかった。その後、フランスはイギリスから統治の権利の譲渡を受けたが、これに抵抗する動きが活発化し、各地で武力衝突が起った。ベトナムの統一は対仏戦争、対米戦争を経て 1976 年に実現し、ベトナム社会主義共和国が誕生した。ベトナム戦争中は社会主義国、非同盟諸国と国交をもつだけで、西側諸国との外交関係が途絶えた。外交関係を持つようになったのは 1973 年のパリ協定以降であるが、カンボジア侵攻、中越戦争の勃発により、西側の援助が停止し、80 年代末まで関係停止の状態が続いた。1989 年カンボジアからのベトナム軍の撤退により西側諸国との関係が改善された。また、ソ連・東欧の崩壊により従来の社会主義共同体の枠組みが崩壊し、市場経済の導入と対外開放政策が進められた。1995 年米国との国交正常化を境に ASEAN に加盟し、1998 年に APEC に参加するなど、特にアセアン、アジア・太平洋諸国等の近隣諸国との友好関係の拡大を強めた。

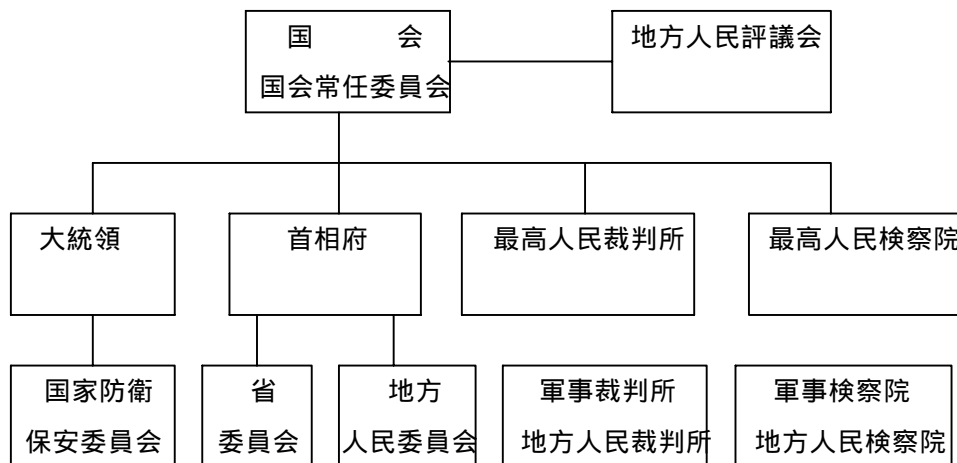
(a) ベトナムの国家組織

政治体制

国家元首は大統領であり、国会で選出され、人民軍総司令官と国家防衛保安委員会議長を兼ねる。

議会は1院制で議席数450名、任期は5年である。議員は共産党傘下の団体の推薦を受けた候補者が多いが、最近では推薦を受けない自薦の若い人材が登用された。

図 4.2.1 ベトナムの国家機構概要



行政体制

ベトナムの行政は現在ハノイ、ホーチミン、ハイフォン、ダナンの中央直轄の特別市と 57 省に分かれている。省の下に市、郡などの単位があり、それぞれに人民評議会（地方議会）と人民委員会（行政機関）がある。

表 4.2.1 ベトナムの行政組織概要

首 相 府	
国防省	公安省
外務省	法務省
計画投資省	大蔵省
商業省	農業農村開発省
交通運輸省	建設省
工業省	水産省
労働戦傷省	社会福祉省
科学技術環境省	文化情報省
教育訓練省	厚生省

2) 社会状況

ベトナムは長期間に亘る戦争により国民の生活は貧しいが、民族の自主・独立への気概は強い。また、儒教の影響で祖先、老人に対する尊敬の念は強い。

インフラの未整備や官僚主義の弊害により経済発展の障害は多いが、ドイモイ政策の推進で徐々にではあるが経済状況が改善され、食糧問題も克服できた。しかし、資本主義経済の導入により貧富の差が拡大し、賄賂、汚職、治安の悪化などの弊害が出現するようになった。ベトナム政府はソ連、東欧の社会主義国家の崩壊により共産党一党体制に危機感を持ち、「敗退的な外国文化の流入」と「共産党一党支配を揺るがせる政治改革」に対してきわめて慎重である。

人口・民族

1999年の性別、部門別、地域別の人口は表4.2.2のとおりである。総人口は7,632万人で農村部の人口が全体の約77%を占める。

表4.2.2 性別、部門別、地域別人口(1999年)

単位：千人

地 域	合 計	男 性	女 性	都市部	農村部
ハノイ	2,672	1,337	1,335	1,539	1,133
ハイフォン	1,673	825	848	568	1,105
北部山岳地域	13,089	6,491	6,498	3,484	11,062
紅河デルタ地域	10,456	5,065	5,390	1,010	9,444
北部中央海岸地域	8,962	4,398	4,562	944	8,019
南部中央海岸地域	9,120	4,474	4,647	4,156	6,729
中央高地地域	4,058	2,055	2,003	1,083	2,975
ホーチミン市	5,037	2,424	2,613	4,205	832
周辺地域	5,126	2,542	2,580	1,397	3,730
メコンデルタ地域	16,131	7,867	8,228	2,752	13,379
合 計	76,324	37,519	38,805	17,917	58,408

(出典：1999年人口調査、Statistical Yearbooks1994-1998)

1975年からの人口の増加率は表4.2.3のとおりである。1975年から1999年までの人口増加率は約60%と高率である。

表 4.2.3 1975 年からの性別、部門別人口と人口の増加の推移

単位：千人

年	人口	増加率(%)	男性	女性	都市部	農村部
1975年	48,030					
1976年	49,160	2.35	23,597	25,563	10,127	39,033
1977年	50,237	2.19	24,197	26,039	10,116	40,114
1978年	51,337	2.19	24,813	26,524	10,105	41,226
1979年	52,462	2.19	25,444	27,018	10,094	42,368
1980年	53,630	2.23	26,047	27,583	10,295	43,335
1981年	54,824	2.23	26,665	28,159	10,499	44,324
1982年	56,045	2.23	27,297	28,747	10,708	45,336
1983年	57,292	2.23	27,944	29,348	10,921	46,371
1984年	58,568	2.23	28,607	29,961	11,138	47,429
1985年	59,872	2.23	29,285	30,587	11,360	48,512
1986年	61,109	2.07	29,912	31,197	11,817	49,292
1987年	62,452	2.20	30,611	31,841	12,271	50,181
1988年	63,727	2.04	31,450	32,277	12,662	51,065
1989年	64,774	1.64	31,589	33,185	12,919	50,801
1990年	65,846	1.65	32,138	33,708	13,203	51,604
1991年	66,935	1.65	32,586	34,349	13,450	52,454
1992年	68,042	1.65	33,150	34,892	13,024	53,994
1993年	69,168	1.65	33,764	35,404	13,306	54,845
1994年	70,313	1.65	34,314	36,502	13,711	56,366
1995年	71,476	1.65	34,882	36,594	14,085	56,381
1996年	72,658	1.65	35,601	37,057	14,546	57,105
1997年	73,860	1.65	36,332	37,523	15,140	57,709
1998年	75,082	1.65	36,951	38,162	15,398	58,692
1999年	76,325	1.65	37,519	38,806	17,917	58,048

(出典：1999年人口調査 General Statistical Office, Statistical Yearbooks1994-1998)

注釈：性別、区域別の人口は軍隊と移住労働者を除いているため総計ではない。1989年から1998年は地域の人口は法律上の居住に基づいており、軍隊を含まない。1999年の人口調査はその年に修正があり、更に前年分の修正が必要である。暫定的に、1990年から1998年は世界銀行のスタッフによって外挿により推定している。

部門別雇用労働者数の推移は表 4.2.4 のとおりである。

表 4.2.4 部門別雇用労働者数の推移

単位：千人

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
全雇用労働者	30,289	30,974	31,819	32,724	33,664	34,590	35,792	36,994	38,094
政府	3,416	3,144	2,975	2,960	2,928	3,053	3,138	3,267	3,339
中央	1,340	1,296	1,242	1,256	1,232	1,281	1,300	1,359	1,385
地方	2,076	1,840	1,733	1,704	1,696	1,772	1,838	1,908	1,955
協同組合	20,414	18,071	18,629	-	-	-	107	148	114
民間	6,459	9,759	10,215	29,764	30,736	31,537	32,547	33,579	34,361
生産部門	28,710	29,361	39,859	30,614	31,267	32,012	33,137	34,324	
工業	3,094	3,156	3,210	3,322	3,366	3,435	3,501	3,503	
建設	567	579	637	818	960	996	975	977	
農林	22,319	22,841	22,867	22,935	23,000	23,521	24,153	24,814	
漁業	275	281	293	490	565	601	523	630	
運輸	523	533	537	550	556	781	856	856	
観光	508	518	484	486	458	507	518	519	
商業	1,266	1,292	1,640	1,813	2,137	2,040	2,311	2,825	
その他	158	161	191	200	225	133	201	202	
非生産部門	1,579	1,613	1,960	2,110	2,397	2,577	2,655	2,670	
科学	44	45	40	40	37	38	39	41	
教育訓練	753	769	844	883	947	973	994	999	
文化	55	56	72	77	91	94	96	96	
福利厚生	234	240	250	260	271	279	293	296	
金融	72	73	95	103	122	126	125	126	
国家管理	289	295	292	298	297	393	409	411	
その他	132	135	367	449	632	674	498	702	

(出典：General Statistical Office, Statistical Yearbooks1996-1998)

3) 経済状況

ベトナムでは、1991年から1999年の期間最高のGDP成長率を記録した。また1人当りのGDP成長率も顕著な値を示した。成長率は単独ではなく、大規模な海外支援や回復期の借款に基づくものであった。これらは初期の経済成長のために重要な役割を果たした。このことはGDPと最終消費高を比較すると明らかである。

1990年までのGDPは最終消費高より少ない値であった。この期間中、ベトナムは必要な食料を十分に生産できず、蓄積した公債や一部の最終消費材は外国資源で賄われた。1991年から現在まで、GDPは最終消費高より大きくなり、国の生産の一部が蓄えられ、その量は急激に増大している。

表 4.2.5 GDP 成長率 (%/年)

年	経済全体	農業	工業	サービス業
1976 - 1980	0.2	2.0	0.6	1.9
1981 - 1986	6.0	5.2	8.9	1.5
1987	3.4	0.6	11.1	5.6
1988	4.6	3.9	3.3	8.9
1989	2.7	6.9	4.0	17.7
1990	2.3	1.5	2.5	10.4
1991	6.0	2.2	9.9	8.3
1992	8.6	7.2	14.6	8.6
1993	8.4	3.9	12.1	9.2
1994	8.8	4.1	13.5	9.0
1995	9.54	4.8	13.6	9.8
1996	9.34	4.4	13.5	8.9
1997	8.15	4.3	12.6	7.1
1998	5.83	2.7	10.3	4.2
1999	4.80	5.2	7.7	2.3
1976 - 1986	2.5	3.2	2.8	2.2
1987 - 1994	5.7	3.7	7.2	9.1
1995 - 1999	7.5	4.3	11.4	6.5

(出典: Vietnam's General Statistics Office)

農業の成長率は最も低いが、良い状況にある。食料の米換算で1985年から1988年までは18～19百万トン、1989年と1990年に21百万トン、1991年には22百万トン、1992年には24百万トン、1997年には30.6百万トン、1999年には33.8百万トンに増加した。1989年までベトナムは毎年0.5百万トンの食料輸入国であった。しかし、1989年から2～4.5百万トンの輸出が可能となり、第3番目の米輸出国になった。この結果、農業は経済成長を維持増進する要因の1つとなった。農業管理システムの回復、灌漑の実施、先進技術の導入、土地の耕作が進み、耕地面積の増加により生産作物が多様化した。最近の経験の蓄積により、今後とも継続して食料の増産を可能にした。ベトナムは、未だ南部、特にメコン川デルタ地域の主要な地域で開発の余地を残している。

表 4.2.6 各部門における経済構造 (%)

	1991	1994	1998	1999
GDP	100	100	100	100
農林水産	40.8	27.2	32.7	25.6
工業及び建設	22.8	28.8	32.7	33.7
サービス	36.4	44.1	41.3	40.7

(出典: Vietnam's General Statistics Office)

表 4.2.7 経済構成ごとの経済構造 (%)

	1991	1994	1998	1999
GDP	100	100	100	100
国営企業	29.25	40.12	40.17	40.20
私企業	70.75	53.47	50.01	49.40
外国資本企業		6.41	9.82	10.40

(出典: Vietnam's General Statistics Office)

最近の食料生産の達成状況は食料確保が保障されたことを示している。米の収穫が百万トン減少しても、米の輸出が減少するだけで、国民の消費には影響しない。食料生産の増大と国内の食料輸送の発達により、どの地方・地域でもコストを度外視して食料の自給自走をする必要がなくなった。そのため、各地方・地域の特性や優位性を生かして、単位の内面積当たりの高付加価値を達成し、生産性の向上をもたらした。また、生産性の高い商業生産用の広大な農地が開発され、農業の変革が可能となった。ある地域では広大な耕地を開発し、食料生産よりも経済価値の高い単年・多年性の産業用作物の生産を開始した。その結果、多くの産業用作物が急速に開発され輸出産物となった。コーヒーの輸出は1999年には50万ト

ンに達し、500 百万ドルを稼ぎ、米に次ぐ第 2 に大きい農業輸出産物となった。

近年、ベトナムは農業において目覚ましい成功を収め、食料保障を確実にした。作物・動物生産を再構築し、地方・地域の特性や優位性を生かして利益を上げることができるようになった。

1990 年代の前半は経済の再構築が進んだが、後半は各部門及び各経済構成で再構築のスピードが低下した。しかし、経済構成は 1999 年には、非国営企業は約 50%（私企業：37.4%、共同組合：9%、合弁企業：3%）の GDP を達成した。国営企業は GDP の 40.2%、外国資本の企業は 10.4%であった。

産業構造と経済指標の推移

1990 年から 1998 年までの各部門別の経済指標の推移を表 4.2.8 に示す。1990 年は急激な増加が見られたが、ここ 1、2 年 15%程度の増加率に落ち着いてきている。全 GDP に占める工業の割合は 1990 年には 23%に過ぎなかったが 1998 年には 33%に増加した。

表 4.2.8 現在の価格による産業構造と経済部門による GDP の推移

単位：10 億ドン

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
合計	41,955	76,707	111,535	136,571	170,258	228,892	272,036	313,623	361,468
国営	13,811	26,137	40,012	55,740	70,267	91,977	108,634	126,970	144,841
非国営	28,144	50,570	70,523	80,831	99,991	136,915	163,402	186,653	216,627
農林業	17,107	31,058	37,513	40,796	48,865	62,219	75,514	80,826	93,068
工業合計	9,572	18,252	30,135	39,472	50,481	65,820	80,877	100,595	117,803
国営	5,848	11,864	19,833	25,933	33,558				
非国営	3,724	6,388	10,302	13,539	16,923				
工業	7,959	15,193	23,956	29,371	37,535	50,028	63,111	80,072	97,042
建設	1,613	3,059	6,179	10,101	12,946	15,792	17,766	20,523	20,761
サービス合計	15,276	27,397	42,887	56,303	70,912	100,853	115,645	132,202	150,597
国営	7,275	12,979	18,756	27,983	34,499				
非国営	8,001	14,418	24,131	28,320	36,413				
情報	1,449	2,860	4,662	6,036	6,924	9,177	10,390	12,418	14,100
商業	5,460	9,742	15,281	17,549	23,072	37,491	43,125	48,914	55,990
金融	490	1,108	1,567	2,318	3,450	4,604	5,148	5,444	6,197
教育・医療	3,608	6,807	9,718	14,402	18,270	20,218	22,833	26,115	29,981
その他	4,269	6,880	11,659	15,998	19,196	29,363	34,149	39,311	44,329

(出典：General Statistical Office, Statistical Yearbook 1999)

工業生産量

また、発電をはじめ、石炭・石油のエネルギー関連の生産量は1990年から1998年の9年間で2倍以上の増加を示している。鉄鋼等の原材料や化学肥料、セメント等の工業製品の生産量も大幅に伸びている。表4.2.9に1990年から1998年までの主な工業製品の生産量推移を示した。

表4.2.9 工業製品の生産量推移

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
エネルギー									
電力(百万 kWh)	8,790	9,307	9,818	10,851	12,473	14,665	16,962	19,253	21,847
石炭(百万ト)	5	5	5	5	6	8	10	11	11
原油(百万ト)	3	4	6	6	7	8	9	10	13
原材料									
鉄鋼(千ト)	102	149	196	236	280	470	868	978	453
クロム(千ト)	5	6	4	4	6	25	37	51	54
スズ(千ト)	1,602	1,686	4,544	2,050	0	1,862	2,805	2,376	2,525
工業製品(件)									
機械工具	894	1,235	844	1,288	1,358	1,358	1,099	1,196	1,124
モーター	4,470	5,296	3,264	2,849	3,371	4,217	7,838	6,761	6,500
エンジン	10,596	9,550	13,923	21,363	28,789	29,390	35,575	38,116	42,080
変圧器	2,612	1,964	1,310	3,750	5,881	6,186	6,910	6,549	4,525
農業用ポンプ	430	412	330	360	632	547	435	563	600
製粉機	1,013	657	706	820	2,067	2,043	2,167	12,431	12,000
農器具	172	190	188	180	187	134	-	-	
化学肥料(千ト)	354	450	530	661	841	931	965	982	974
殺虫剤(千ト)	9	10	11	14	14	16	20	20	20
セメント(千ト)	2,534	3,127	3,926	4,413	6,371	5,828	6,585	8,019	9,390
ブロック(百万個)	3,476	3,769	4,274	4,370	5,413	6,892	7,119	7,262	7,378

(出典: General Statistical Office, Statistical Yearbooks 1996-1998)

貿易

1986年に始まったドイモイ政策のもとで、ベトナムの経済は急速に開放してきている。1998年の貿易依存度（GDPに対する輸出額と輸入額合計の割合）は55%に達し、アジア諸国のインドネシアやタイと比較してもかなり高い数字である。ただ、ベトナムの場合、農産物などの国内価格が過小評価され、市場の未発達によりGDPに計上されない経済活動が比較的大きいと見られることから、貿易依存度は過大評価されていると思われる。

1990年から1998年のベトナムにおける貿易収支は表4.2.10の通りである。1995年から1996年には貿易収支の大幅な赤字を記録したが、その後落ち着きを見せている。

表 4.2.10 輸出入額と貿易収支の推移

単位：US 百万ドル

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
輸出合計	1,731	2,042	2,475	2,985	4,054	5,198	7,330	9,145	9,365
輸入合計	1,775	2,107	2,535	3,532	5,250	7,543	10,483	10,460	10,350
貿易収支	-44	-65	-60	-547	-1,196	-2,345	-3,153	-1,358	-986

ベトナムの貿易は1980年までは典型的な社会主義制度で行われていたが、1981年には輸出入貿易会社は所轄官庁に所属することになり、地方企業も直接貿易ができるようになった。更に1990年からは私企業も輸出入業務ができるようになった。1993年からはクォーター制（数量的規制 = Quota）から関税管理に変わり、クォーター制対象品目も、織物と米の輸出と7品目の輸入となっている。主要輸出品目の原油、石炭、米と主要輸入品目の石油製品、肥料、鋼材、セメントはなお政府によって管理されているが、その他の品目は自由に貿易できるようになった。

ベトナムの主な輸出国は日本をはじめとするアジア諸国のほか、欧米にわたっている。表4.2.11に主な輸出相手国と貿易額を示した。主な輸出品としては、原油、米、海産物、衣類、履物などがある。

表 4.2.11 1999 年の主な輸出相手国と輸出総額及び主な輸出品

単位：百万 US \$

貿易相手国	貿易総額	原油	米	履物	海産物	衣類
日本	1,786	358	5	32	412	417
中国	858	331	5	2	51	1
シンガポール	822	279	145	9	28	48
オーストラリア	814	702		16	17	20
台湾	682	14	2	46	55	238
ドイツ	654			192	10	236
アメリカ	504	99	5	102	125	34
タイ	421		20	194	9	55
インドネシア	421	149	244	2	1	
フィリピン	393		126	1		1

出典：世界銀行；Vietnam Export Performance in 1999 and Beyond

輸出額の推移は表 4.1.12 に示し、1990 年から 1998 年までに 5 倍以上に増加している。

表 4.2.12 1990 年から 1998 年までの輸出品と輸出額の推移

単位：US 百万ドル

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
輸出合計	1,731	2,042	2,475	2,985	4,054	5,198	7,330	9,145	9,365
米	272	225	300	363	429	549	855	870	1,024
(千トン)	1,455	989	1,860	1,725	1,950	2,052	3,003	3,553	3,749
石油	390	581	756	844	866	1,024	1,346	1,413	1,232
(千トン)	2,600	3,917	5,400	6,153	6,942	7,652	8,705	9,574	12,145
石炭	38	48	47	70	75	81	115	111	102
(千トン)	1,075	1,173	1,580	1,940	2,319	2,800	3,647	3,449	3,161
ゴム	16	50	54	74	133	181	163	191	127
(千トン)	20	63	68	97	129	130	122	195	191
茶	2	14	16	26	16	33	29	48	51
(千トン)	2	10	13	21	17	25	21	32	33
コーヒー	25	74	86	110	328	495	337	491	594
(千トン)	28	94	96	122	177	200	239	389	382
カシューナッツ	13	26	41	44	59	130	130	133	117
(千トン)	25	30	52	48	57	130	130	33	16
肉	28	45	21	26	45	12	10	29	
(千トン)	16	25	12	15	30				
黒胡椒	12	18	15	15	17			63	64
(千トン)	9	16	22	20	20	18	25	23	15
海産物	220	285	302	427	551	620	651	781	818
野菜・果実								68	53
織物・衣類	20	156	221	336	550	800	1,150	1,349	1,351
履物							530	965	1,001
手工芸品								121	111

(出典：General Statistical Office, Statistical Yearbooks1996-1998)

ベトナムの輸入品は表 4.2.13 のとおり。主な輸入品としては、石油製品、肥料、鉄鋼、機械・部品、モーターバイクなどがある。輸入額は 1990 年から 1998 年までに 6 倍に達する勢いで増加している。

表 4.2.13 1990 年から 1998 年までの輸入品と輸入額の推移

単位：US 百万ドル

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
輸入合計	1,772	2,105	2,535	3,532	5,245	7,543	10,483	10,460	10,350
石油	356	485	615	614	696	856	1,079	1,094	827
(千トン)	2,400	2,572	3,075	4,095	4,550	4,969	5,803	5,947	6,830
肥料	210	246	320	189	247	339	643	425	477
(千トン)	2,233	2,425	1,600	925	1,495	1,471	2,919	2,458	3,554
鉄鋼	23	25	104	233	211	-	651	529	524
(千トン)	200	113	260	656	725	-	1,548	1,401	1,735
機械・部品	-	-	100	922	1,815	2,761	-	1,777	2,052
その他									
綿繊維	102	32	23	54	55	96	-	159	175
(百万m)	23	29	25	24	34	49	-	77	130
原料綿	38	61	13	20	43	77	-	110	92
(千トン)	62	32	11	16	24	35	-	74	68
小麦	32	36	59	51	52	60	-	48	67
(千トン)	116	150	283	250	300	226	-	166	271
車・トラック	50	12	39	69	103	134	222	136	130
(台)	5,240	1,320	3,502	6,869	14,350	19,549	25,866	13,975	17,202
砂糖	3	5	4	14	39	61	-	-	32
(千トン)	60	14	13	44	124	147	-	-	123
MSG	40	45	53	70	44	32	-	27	15
(千トン)	24	30	38	56	42	23	-	20	12
モーターバイク	-	-	50	286	347	460	434	242	351
(台)									
薬剤	-	-	60	86	140	114		66	52

(出典：General Statistical Office, Statistical Yearbooks1996-1998)

4.3 ベトナムのエネルギーの状況

(1) エネルギーの一般状況

ベトナムのエネルギー政策は工業省を中心に、外資導入等を管理する投資計画省が係わっている。石油は1986年以降生産が開始されたが、国内に大規模な石油精製設備を持たないため、原油を輸出し石油製品はほとんどを輸入に頼っている。バランス的には1990年以降石油の輸出国となったが、近年消費が急激に増大している。ベトナムのエネルギーの多くは薪、獣糞、藁、バガス（サトウキビの搾りかす）等非商業的なバイオマス資源に依存している。現在、ベトナムの人口当りのエネルギー消費は他国と比較して低レベルにあるが、電力、天然ガスの伸びが大きく、今後エネルギー消費の急激な増大が予測される。

(2) 石油

1) 原油の生産と製品輸入量

ベトナムの海域の大陸棚には40億バレル/日の石油及びガスが埋蔵されていると推定され、石油産出国となる潜在力を秘めている。1975年にBach Ho油田が発見され、1986年には年産4万トン規模で生産が開始された。1990年には石油製品輸入量を差し引いた実質的な原油輸出国に転じ、1995年には795万トン、1997年には957万トン、1998年の予測では1,215万トンを輸出している。石油の生産・輸出及び製品の輸入量のバランスは表4.3.1に示す。

表4.3.1 石油の生産・輸出及び製品の輸入のバランス

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998Pre
生産量(百万t)	3	4	6	6	7	8	9	10	13
輸出量(千t)	2,600	3,917	5,400	6,153	6,942	7,952	8,705	9,574	12,145
輸入量(千t)	2,400	2,572	3,075	4,095	4,550	4,969	5,803	5,947	6,830

(出典：世界銀行統計)

ベトナムの原油生産は、Bach Ho、Dai Hung、Rongの3油田で行われ、この内Bach Ho油田は19万バレル/日の生産規模となっている。Dai Hung油田は生産開始当初、可採埋蔵量が最大8億バレルと推定されたが、最悪1億バレルまで下方修正され、大きな期待は持てなくなった。1995年には日本ベトナム石油(旧三菱石油傘下)がVung Tau沖合いで日量7,000バレル/日の原油自噴を確認した。

ベトナムにおける現在生産している油田の生産能力を表4.3.2に示す。

表 4.3.2 ベトナム油田の各油田の原油生産量

油 田 名	生産開始年	操 業 者	生産量(B/D)	比率(%)
バック・ホー油田	1986	ヴェトソブペトロ	190,000	73.4
ダイフン油田	1993	ペトロナスチャリガリ	9,000	3.4
ロ ン 油 田	1996	ヴェトソブペトロ	15,000	5.8
ランドン油田	1998	日本ベトナム石油	45,000	17.4

(注) 生産量はバレル/日((B/D))で表示している。

2) 石油製品の需要

ベトナムにおける石油製品の需要については、経済の発展とリンクして大きな伸びを示してきており、表 4.3.3 にみられるように今後の石油製品全体の伸び率として 8%を超える見通しをしている。

油種別にみると、ベトナムでは軽油の需要が大きく 46%程度と全体の約半分を占め、次いでガソリンの 23%程度となっている。これは、輸送用としての需要が大きく、産業用としての重油の需要が小さいこと、民生用としての LPG、灯油の需要が小さいことが挙げられる。この後もその比率は大きく変わらずに推移すると予測している。(表 4.3.4 を参照)

表 4.3.3 ベトナムにおける石油製品の消費実績及び予測

単位：百万 kl/年

年	1998	2000	2010	2015
LPG	0.2	0.2	0.9	1.4
ガソリン	1.6	1.9	5.0	8.1
ジェット	0.3	0.3	0.4	0.4
灯油	0.3	0.4	0.9	1.3
軽油	3.2	3.5	7.2	10.0
重油	1.0	1.1	2.9	4.4
潤滑油	0.6	0.6	0.7	1.2
合計	7.2	8.0	18.0	26.8

(注) 石油需要予測値(概数)

(出典：ペトロベトナム石油公社)

表 4.3.4 ベトナムの石油製品構成の実績及び予測（％）

	1995	1998	2000	2005
LPG	1.9	2.2	2.8	4.7
ガソリン	22.8	23.3	24.0	24.0
灯油	5.0	4.0	2.0	2.0
ジェット燃料	4.4	4.4	5.4	6.5
軽油	45.8	46.0	47.0	47.0
燃料油	16.5	16.6	15.0	12.0
潤滑油類	1.6	1.6	1.8	1.8
ビチューメン	2.0	1.9	2.0	2.0
合計	100	100	100	100

（出典）” The 5th Annual Lubricating oil and Grease Markets Asia '99 ”

消費の主流は自動二輪、オートバイで、自動車はまだ一般市民には高嶺の花であるが、将来のモーターゼーション化を見越して欧米のオイル・メジャーが販売網の構築を進めている。一方、国内のガソリンの生産量は1997年時点で僅か1,600バレル/日に過ぎず、ほとんどのガソリンは輸入に頼っている。

灯油の1997年の需要は、6,310バレル/日で、ジェット燃料もほぼ同量の6,260バレル/日である。灯油の国内生産は40バレル/日、ジェット燃料も60バレル/日と100バレル/日にも満たず、輸入に依存している。

軽油は他のASEAN諸国と同様最大の需要の石油製品で、全体の45%以上を占める。1997年の需要は75,350バレル/日で今後年率2桁の伸びが見込まれている。これは、輸送用燃料である軽油がベトナムの経済発展にとって不可欠なためである。

重油は発電、ボイラー等に用いられるが、重化学工業の発展が未熟であり、発電も水力が75%程度を占めていることもあり、消費量は26,790バレル/日に止まっている。

3) 製油所

ベトナムは産油国でありながら、製油所はサイゴンペトロ株の9,000バレル/日の簡易製油所しかない。約14万バレル/日の石油製品需要のほとんどは周辺諸国から輸入によって賅われている。ガソリンはPetrolimexが輸入し、Petrolimex他が元売りとしてガソリンスタンドへ供給する形態を取っている。

ペトロベトナムの製油所の建設計画は表4.3.5の通りとなっている。

表 4.3.5 ベトナムの製油所建設計画

	場所	国産原油比率 (%)	建設費 (\$)	操業開始 (年)
第 1 製油所	中部	100	1.3×10^9	2002
第 2 製油所	北部	50	1.8×10^9	2005
第 3 製油所	南部	50	1.8×10^9	2010

サイゴンペトロの 9,000 バレル/日の小規模製油所はタイ等からコンデンセートを輸入して処理している。現在、原油処理能力 12.5 万バレル/日の製油所の建設を計画しているが、資金問題から進展していない。

ペトロベトナム・ガスカンパニーは、ホーチミンの南東 60 km の Vung Tau に処理能力 3,500 バレル/日のコンデンセートリファイナーの建設を計画している。原料のコンデンセートは Bach Ho 油田の等から生産されたものを使用する予定になっている。

第 1 製油所はロシアとの合弁で建設を予定している。建設予定地は中部地区の Dung Quat (ダナン空港の南約 200 km) で、約 350ha の用地に原油処理能力 13 万バレル/日、原油タンク 2 基、製品タンク、パイプラインシステムの建設を予定している。設備は減圧蒸留装置、重質油流動接触分解装置 (FCC)、連続触媒再生式接触改質装置 (CCR) の他、ポリプロピレン (PP) などの石油化学工場も計画している。現在、建設予定地は整地され機器発注の段階に入っているが、全般的に当初計画より 1 年近く遅れており、装置完成は遅くとも 2004 年以降にずれ込む予定である。国道からのアクセスも可能であるが、港湾設備が未着工の状況である。

(3) 天然ガス

1986 年からのドイモイ政策に伴い、沖合大陸棚を外国企業に割り当て、石油・ガス田の開発に積極的に取り組んできた。ベトナム南部においては有望な油田・ガス田の発見が報告されたが、中部・北部においては 2 ~ 3 件のガス田の発見が報告されているものの、炭酸ガス含有量が多く、利用が進んでいない。

Bach Ho 油田の随伴ガス以外のガスについては、ベトナム南部沖合 370 km の地点において 1994 年に可採埋蔵量 600 億 m³ の Lan Tay/Lan Do ガス田の発見が報告されている。しかし、このプロジェクトは資金が巨額であり、実現までには数年を要すると考えられる。

マレーシア/ベトナムの共同採掘対象区では 1998 年に 1 億 1,100 万 ft³/日のガスと 2,036 バレル/日のコンデンセートを生産する North Bunga Pakma 油田・ガス田の発見が報告されている。

しかし、ベトナム政府にとっての課題は、Bach Ho 油田の随伴ガスの有効利用と Lan Tay/Lan Do ガス田の有効利用であり、国家計画委員会が中心となってマスタープラン作りを行っている。

現在、Bach Ho 油田の随伴ガスはパイプラインで陸上に送られ、発電所の燃料、肥料、石油化学の原料として利用する計画であるが、計画が遅れ約 35% が陸上でフレアリングされている。

(4) LPG

ベトナムの戦争以前における LPG の需要は、旧サイゴン市内において 2 万トン/年であった。しかし、ベトナム戦争後、LPG の需要はゼロとなり、以後 1980 年までその需要はほとんどなかった。

その後も 1989 年までは横這い状態であったが、1990 年を境に状況が一変し、1994 年には 1.6 万トンに達し、全エネルギー消費の約 1% を占めるまでに至った。ベトナムの LPG の消費量推移を下表に示す。

表 4.3.6 ベトナムにおける LPG の消費量推移

	1992 年	1993 年	1994 年	1995 年	1996 年	1997 年	1998 年
南 部	400	4,500	12,830	39,497	60,800	75,000	
北 部	0	500	3,500	10,500	25,000	35,000	
合 計	400	5,000	16,330	49,997	85,800	110,000	140,000

現在、LPG のほとんどをシンガポール、タイなどから輸入し、15 社の輸入業者がターミナルを有している。

ベトナムの LPG 消費量は現状においては非常に少ないが、将来の需要は大きな伸びが期待される。ペトロベトナムが発表している LPG 需要予測を表 4.3.7 に示す。

表 4.3.7 ベトナムにおける LPG の消費量予測

	1998 年	2000 年	2002 年	2004 年	2006 年	2008 年	2010 年
家庭用	103,786	165,580	217,263	257,387	300,500	346,971	396,940
商業用	20,757	33,114	43,453	51,477	60,110	69,349	79,381
産業用	21,649	24,949	28,778	33,194	38,289	44,165	50,991
合計	146,192	223,643	289,494	342,058	398,899	460,530	527,312

LPG の需要の 70% は家庭用である。LPG の国産化が進めば、2000 年に 22 万トン、2010 年には 53 万トンまで伸びると予測されている。

ベトナム政府は LPG を利便性、低公害エネルギーとして評価し、森林伐採の抑制と電力資源の有効利用を図るため、Bach Ho 油田の随伴ガスからの LPG の販売促進を進め、家庭エネルギーを薪から LPG へ転換、普及を図っている。

ベトナムの LPG 貯蔵施設は、ホーチミン市に 3 ヶ所 (Petrolimex Saigon の Nha Be Port、

Elf Gas の Tan Thuan Port、Saigon Petro の Cat Lai Port)、Dong Nai 省に 3 ヶ所 (Siam Gas の Long Binh Tan Port、Unique Gas の Go Dau Port、VietnamLPG の Dong Nai Port)、ハイフオン市の 2 ヶ所 (Dai Hai Petrolimex Hainphong) の計 8 ヶ所であり、合計 6000 トンの貯蔵能力を持っている。

LPG 貯蔵設備は 5 社が建設を進めており、完成すると合計 3,000 トンの貯蔵能力が増加する。また、Mobil Unique Vietnam は Dong Nai 省にある 1,000 トン既存所蔵施設を 1 万 5,000 トンに能力増強する計画を進めている。

LPG 製造設備としては、Petrovietnam が Bach Ho 油田からの随伴ガスパイプラインを利用して、Ba-Vung Tau の Dinh CO に年産 23 万トンの設備が建設されている。

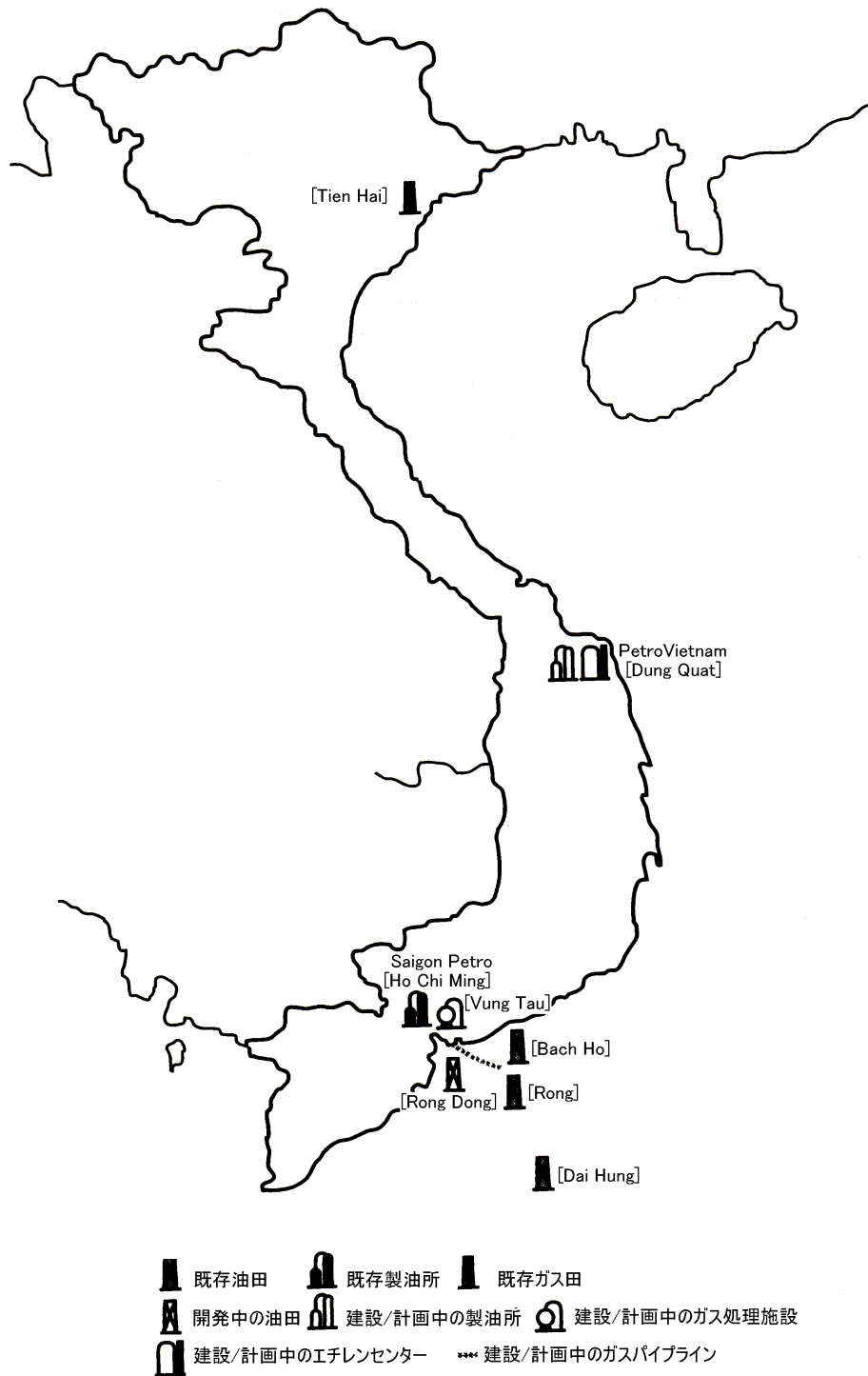


図 4.3.1 ベトナムの石油・ガス関連施設分布図
 (出典：東アジアの石油産業と化学工業 2000 年版)

(5) バイオマス

ベトナムの農村人口は約 80%である。この国は7つの農業 - 生態系ゾーンに分類されている。一番広いのは北部の山岳地帯と高原地帯で、102,968 km² に広さで、全国土の 31.1% を占める。一番小さいのは紅河デルタ地帯で、12,858 km² の広さで、全国土の 3.88% を占める。残りの地帯は 23,391 km² から 56,184 km² の面積である。7つの農業 - 生態系ゾーンおよびその利用パターンは表 4.3.8 に示されている。

ベトナムにおいては、バイオマスは一次エネルギー消費の約 60 ~ 65% となっていて、1995 年では 14 ~ 15 百万トンに相当した。一般家庭では、消費エネルギーの約 80-90% は、薪、木炭、灌木、麦藁、農業廃棄物、他の有機系廃棄物のようなバイオマス源からであり、主たる用途は料理用である。薪の需要は樹木の再生限度をはるかに超えており、森林破壊を導いている。メコンデルタの外側全域においては、薪の不足や燃料が高価なため、農村家庭に葉、草および穀物廃棄物の使用を強いている。

1994 年の薪エネルギー消費量は 423 PJ であり、全エネルギー消費量の 39% になっている。大部分の薪は、豚の飼料の煮炊きに利用されている。表 4.3.9 から表 4.3.10 に薪エネルギー関連データを示す。

低効率の料理用ストーブで穀物の残渣物や薪を燃やすことは、農家の室内空気汚染をもたらし、健康問題を導いている。「高熱効率料理ストーブ計画」は、利用出来るバイオマス資源をより良く利用する目的のためにあり、巧く進行している。

2000 年までに、砂糖工場数を 51 まで増加させる計画がある。一日当たり合計 91,100 トンのサトウキビ処理能力となる。もしこれらの工場がバガスを燃料とすれば、合計発電設備容量は約 250 MW になる。砂糖生産部門には低圧エネルギープラント (20-22 bar) を使用しているが、高圧スチームによるバガス燃料・コ・ジェネが幾つかの工場で検討されている。このことは電力の外販に対し EVN(Electricity of Vietnam)が合理的な料金を保証することが条件となるであろう。

ベトナム全土に 127 の米穀ミル工場が散在している。最も密集しているのはメコンデルタであり、時間当たり 5 トンの容量を持った 50 のミルが確認されている。各ミルは米殻燃料をとし、500 kW 以上の発電所をサポートできることになり、総計 70 MW 以上となる。

1995 年、約 2,700 万トンの米穀がベトナムで生産され、その多くはメコンデルタであった。脱穀は数多くの小さな米穀ミルで行われているが、中規模の米穀ミルも存在する。50 を超えるミルは時間当たり 5 トンより大きい容量を持っていて、一般的には、経済的に可能性のあるコ・ジェネシステムの最小米穀ミルと考えられる。時間当たり 5 トンのミルは 500 kW の発電が可能である。しかし、発電された過剰電力を EVN の電力網に売却出来るようにならなければならない。

表 4.3.8 ベトナムにおける農耕 - 生態系 - 農業の7ゾーン (1995年)

(単位: ha)

	経済地域名	総面積	土地利用の状況				
			農地	森林	特殊利用	家屋敷	荒地
1	北部山岳	10296763	1741437	2038421	228096	190887	6637922
2	紅河デルタ	1258438	711744	55502	187692	87311	216187
3	北部中央海岸	5118054	670323	1882259	166097	68890	2330485
4	南部中央海岸	4507822	544513	1858767	144159	55043	1915340
5	中央高原	5618483	629208	3266626	89190	53117	1580342
6	南部北東	2339108	955916	509207	141647	97251	635087
7	メコンデルタ	3955550	2654066	304310	165303	165006	666865
	国全体	33104218	7907207	9915092	1122184	717507	13982228
	比率 (%)	100	23.88	29.95	3.38	2.16	40.63

出典: Statistical Data of Agriculture, Forestry and Fish 1985-1995

注: 家屋敷は田舎と都会の住居及び庭の面積を含む pondsek.

表 4.3.9 薪エネルギー関連データ

エネルギー消費量 (1995年)	
全エネルギー	1,083.6 PJ
薪エネルギー	444.5 (41.0%)
バイオマスエネルギー	842.3 (77.7%)
薪エネルギー源	
森林面積 (1995年)	9,117 Kha
自然林面積 (1995年)	7,647
農地面積 (1994年)	7,086
薪エネルギーのポテンシャル (1994年)	
自然林からの供給	10,814 K ton
植樹林からの供給	5,128
農地からの供給	7,396
樹木に富む土地からの供給	7,124
山林伐採の廃材からの供給	18,498
全供給ポテンシャル	48,960 K ton
薪エネルギーの必要量	29,368 K ton

表 4.3.10 薪とバイオマスエネルギーの全消費量 (1995/1996)

(単位: PJ)

薪	バイオマス	全体	薪の比率
429	604	892	48%

出典: FAO “ Wood Energy Database, 1999 ”

4.4 ベトナムの農業

現地の農業の状況について、日本政府機関の情報を含めた内容を以下に記す。

(1) ベトナムの農業

1) 農業の概要

工業化が初期段階にあるベトナムでは、農業は重要な産業であり、今後の経済発展にとっても最重要課題と位置付けられている。国内総生産に占める 1997 年の農業の割合は 26% と他の ASEAN 諸国に比べて高い水準にあり、農業生産の中心である米は原油に次ぐ第 2 の外貨獲得手段となっている。森林は、国土の約 28% を占めているが、移動式焼き畑農法などによりその面積が徐々に減少しているところから、植林事業を積極的に進めており、1995 年以降は毎年 20 万ヘクタール以上の植林を実施している。

国民の 80% が農村地帯に住んでいるベトナムでは、経済において農業生産は依然として重要な役割を果たしている。しかし、農産物の消費市場を拡大するには、政府と農民双方の努力が必要である。政府は低利貸付政策を実施することにより農民を支援し、堅実で有利な法的措置 (legal corridor) と、国内外の市場に関する必要な情報を提供する。また農民が事業を発展させ、農産物の取引に携わるための適切な指導も行っている。政府は責任をもって、国内外に農産物の市場を確保しなければならない。地方当局およびさまざまな業種の企業は、国からの刺激を受けて、地方の産物の市場拡大に努めることが期待されている。地方の「通商熱」があらわれ、ベトナムの農業生産はさらにダイナミックで柔軟性のあるものになっていくと思われる。

ベトナムの開発投資構造のうち、農業部門への投資は、ここ数年 15~17% の割合で増加してきた。治水、植林、森林保全、および貧困の緩和は、国の投資プロジェクトの中で最も優先度の高いものである。国有企業以外に、地方での家族経営、プランテーション、協同組合その他の形態の事業発展にも、政府は適正な注意を払う必要がある。灌漑・排水プロジェクトはもちろん、高収量品種の開発や家畜の品種改良、農産物の加工および販売に対する投資も拡大する必要がある。これらすべてが、農業の成功と農村の発展にとってきわめて重要である。

1999 年には、農産物輸出によるベトナムの収益は約 30 億米ドル (うち米が 10 億ドル、コーヒーが 5 億 5,000 万ドル) に達した。ベトナムは 3,380 万トンの食料を生産したが、それでもなお、山岳地帯に住む多くの国民が、作物の端境期には飢えに苦しんだとの報告があった。これは主に、地方では耕地が不足しているか、灌漑設備がないためである。また地方では、農民が副業で収入を補うことが難しい状況である。

個々の農家が耕地面積の目標を達成できるよう、小規模な灌漑プロジェクトの建設や、段畑や棚田農業(terraced farming)の拡大、水稻栽培用の農地の開墾など、農業拡張プログラムを推進する必要がある。果樹栽培と畜産は重要な2分野で、これらを1充分活用すれば、地方の農民の収入増につながると思われる。

農業・農村開発省(MARD)の報告によれば、農林漁業の年間成長率は1999年にはほぼ5.5%に達し、目標の3.5~4%を大きく上回ったとのことである。これだけの成長率が実現できたのは、主要農産物の収穫量が大幅に増加したためである。1999年の食品生産量は1998年に比べて6.3%増加し、3,380万トンに達した。このうち、米の収量は3,100万トン(6.5%増)である。戦略的農産物(コーヒー豆、ゴム、茶、果物、サトウキビなど)の生産量もかなり増加している。報告では、ゴムの生産量が24万トン(6.3%増)、茶が6万トン(17.75%増)、果物が450万トン(12.5%増)となっている。

インフラが整っていないことも、明らかに地方の発展を妨げる要因となっている。現在、域内に自動車道路が通っている町村は6%、診療所を持つ町村は2%である。さらに悪いことには、農村部在住世帯の30%には電気が通じておらず、64%は上水道を利用できない。

投資は需要を追い越すほど盛んに行われている。MARDの報告によると、国が農業及び農村開発に費やす費用は、この数年来、年平均で国家財源の15~17%に相当する。農業への公共投資は、1996年が1億6,770万ドル、1997年が2億3,260万ドル、1998年が2億4,460万ドル、1999年が3億8,570万ドルと報告された。2000年には、MARDの政策担当者は農業部門の開発に投入するため、4億2,850万ドル(国家予算の20%)を要求している。

農業および農村開発に費やす年間費用は過去4年間で倍増しているが、業界の消息通によると、国による財政的支援はまだ要求水準に達していないとのことである。

2) 農林水産業の地位

ベトナムにおける農林水産業のウェイトは高く、国民総生産の26%を占めている。

表 4.4.1 農林水産業国内総生産に占める割合 (1997年)

	名目額(百万ドル)	国内総生産に占める割合(%)
国内総生産(GDP)	25,225	-
農林漁業	6,609	26.2

(注) 国連統計、世界銀行資料

3) 農業人口

農業従事者は、1998年では人口の68%を占める。

表 4.4.2 農業人口(1998年)
(単位:万人)

総人口	7,756
農業人口	5,287
(%)	68.20
総就労人口	4,032
農業就労人口	2,749
(%)	68.20

(注) F A O資料

4) 農地利用の状況

ベトナムにおける農産物は、米が中心であり、その他としてトウモロコシ、甘藷、サトウキビ、キャッサバ、ピーナッツ、コーヒー、ゴム等である。

輸出可能な水準にある米の栽培面積は、メコン・デルタ地域が100万ヘクタール、紅河・デルタ地域が30万ヘクタールである。この2地域の収穫量を合わせると、ベトナム全体の73%近くにあたる。1ヘクタール当たりの平均単収も、それぞれ5トンと5.3トンで、東南アジアのなかで最高水準にある。特に、メコン・デルタ地域の北部のタイビン(Thai Binh)とアンザン(An Gian)省は2毛作を行っており、12トンに達している。

主要農産物の作付面積の推移を表4.4.3に示すが、米は春、夏、冬期の3期の収穫があり、その一部は2毛作によるものである。作付面積の推移を見ると、米、トウモロコシ、サトウキビが増えているのに対し、甘藷、キャッサバは減っていることが分かる。

表4.4.3主要農産物の作付面積

1,000ha

	1980	1990	1993	1995	1996	1997	1998
合計	-	9,040	9,714	10,497	10,929	11,316	11,705
米	5,600	6,028	6,387	6,766	7,004	7,100	7,362
春期	1,707	2,074	2,326	2,421	2,541	2,683	2,783
夏期	681	1,216	1,438	1,742	1,984	1,885	2,141
冬期	3,212	2,738	2,623	2,602	2,479	2,532	2,438
他の農産物							
トウモロコシ	390	432	497	557	615	663	650
甘藷	450	321	387	305	303	267	255
キャッサバ	443	257	278	277	276	254	232
サトウキビ	110	131	143	225	237	257	283

出典：(1980年のデータ) "Vietnam's Agriculture" Tran Thi Que,

Institute of Asian Studies, Singapore

(1990～1998年のデータ) "Statistical data of Agriculture, 1999"

Dept. of Agriculture, Forestry and Fishery, Vietnam

5) 主要農産物の生産状況

ベトナムの農業部門は数多くの成功を収めている。生産規模が大きくなり、多様化し、生産性が向上して、国際的な競争力が増した。特に米栽培部門は規模、生産性ともに驚異的な伸びを見せている。米は1944年当時、栽培面積が460万ヘクタール、収穫量が490万トンに過ぎなかった。ところが1999年現在、この数字は、それぞれ761万ヘクタールと3,380万トンに達している。平均単収は、東南アジアでインドネシアに次ぎ第2位、世界の主要米輸出国のなかでも同じく第2位である。

生産状況の1998年までの推移を表4.4.4に示す。これによると、生産が増えているものは米(伸び率1998/1990年比：5.3%)、とうもろこし(11.6%)、サトウキビ(12.5%)であり、サトウキビの伸びが際立って大きい。これは後で述べるように、1995年から開始された「シュガー・プログラム」によるものである。逆に、生産が減っているものは甘藷、キャッサバである。

表 4.4.4 主要農産物の生産状況

単位：1,000 トン

	1980	1990	1993	1995	1996	1997	1998
米	11,647	19,225	22,837	24,964	26,397	27,524	29,142
春期	3,874	7,846	9,032	10,737	12,210	13,310	13,560
夏期	1,594	4,110	5,144	6,501	6,879	6,638	7,523
冬期	6,180	7,269	7,724	7,726	7,309	7,576	8,060
他の農産物							
トウモロコシ	429	671	832	1,177	1,537	1,651	1,612
甘藷	2,418	1,929	2,480	1,685	1,697	1,691	1,517
キャッサバ	3,323	2,276	2,548	2,190	2,067	2,403	1,783
サトウキビ	4,359	5,398	6,083	10,701	11,430	11,921	13,844

出典：表 4.4.3 と同じ

4.5 サトウキビ栽培

(1) 概要

ベトナムでは農業・農村開発省(MARD)は、2000年までに100万トンの砂糖生産を目標とする「シュガー・プログラム」を1995年に開始した。具体的には、サトウキビ処理能力97,000トン/日を目指し、砂糖工場の建設に9億2,000万ドル、原料(サトウキビ)の作付面積を拡大するために4億ドルを投資した。その結果、現在では、作付面積は30万ヘクタールに達し、95~100万トンの砂糖生産が見込まれている。

「シュガー・プログラム」の概要を立案した当時(93~94年)、ベトナム経済は高度成長下にあり(平均経済成長率8~9%)、国民の所得増加から砂糖需要も12キロ/人/年にまで増加すると見られていた。しかし、アジア通貨危機の影響を受け、ベトナムの経済成長率は6%以下に落ち込んだため、国内で消費される75万トン/年程度と見られている。

(2) 地域別の生産状況

ベトナムは熱帯・亜熱帯地域に属することから全国的に生産が行われているが、表4.5.1に示すように、1998年までのデータで判断すると、南部が作付面積及び生産量とも約8割を占める。1ヘクタール当りの収量も全国平均49トン/haに対して、メコン川デルタ地域は60トン/haと際立って大きく、生産量は全国の40%を占めている。南部でも北東部や高原部になると、収量は中央海岸部よりも低くなる。

表 4.5.1 地域別のサトウキビ作付面積の推移及び生産量・収量

	作付面積				生産量	収量
	ha				トン/年	トン/ha
年	1995	1996	1997	1998	1998	1998
紅河デルタ地域	3.4	3.6	3.1	3.0	123	41.0
北東部	9.3	11.1	13.2	14.5	514	35.5
北西部	6.2	7.5	9.8	10.2	395	38.7
中央北海岸部	10.6	15.5	21.7	32.5	1,530	47.1
中央南海岸部	42.0	47.4	48.5	55.3	2,451	44.3
中央高原部	11.3	16.0	17.9	16.4	621	37.8
南部北東部	44.0	43.9	54.0	58.2	2,672	45.9
メコン川デルタ地域	98.0	92.0	88.8	92.9	5,539	59.6
合計	224.8	237.0	257.0	283.0	13,845	48.9

出典：“Statistical data of Agriculture, 1999”

Dept. of Agriculture, Forestry and Fishery, Vietnam

1) 北部の状況

現地調査でハノイ市から 230km 南方向のタン・ホア (Thanh Hoa) 省 ラム・ソン (Lam Son) 町にあるラム・ソン工場に所属する栽培地を訪問した。1986 年に官営工場として稼働開始し、今年 1 月に民営化した北部の最有力工場である。サトウキビの栽培地は 20,000 ha で、収量は 50 t/ha、年間 1,000,000 トンを処理する。

サトウキビの生産は品種が異なるので時期をずらしての収穫が可能であり、年 1 回、11~5 月の収穫がある。3 年毎にピーナッツの連作により、土壤改良を行っている。

周辺は平野部であるが、砂糖工場建設以前は特に何もなく、工場建設に合わせて周辺地域のサトウキビ生産を開始し、1990 年からは街の建設も開始された。

訪問時の、現地栽培地の状況を示す写真を添付する。

2) 南部の状況

南部の調査ではタイ・ニン (Tay Ninh) 省ビン・ホア第 2 工場周辺の栽培地を訪問した。工場から 20km の位置にある工場所有の農場であり、周辺は土地区画整備が進んでおり道路は一本道であるが、湿地帯であるために、畑の周辺は水路で囲まれている。

農場は 3 ヲ所 (2,500、2,500、2,000ha) あり、2 ヲ所は個人所有である。見学には管理責任者も

同行し、タイ・ニン省には 30,000ha の栽培地があり、将来は 50,000ha にしてサトウキビの首都にしたい、と言っていた。今年は雨が多く、病害虫被害が発生しているとのことで、収量は 60t/ha である。

サトウキビの収穫には北部は 8 ヶ月かかるが南部は 6 ヶ月で収穫でき、土地は 3 年目に葉・頭部を焼き、土地を掘り返すという土地改良を実施するだけである。

現地訪問時の写真を添付するが、葉・頭部を焼いた後が残っている状況が確認できた。なお、サトウキビの栽培地は訪問できなかった、ヒープ・ホア工場の周辺の栽培地の状況の写真も添付する。

工場管理者及び I T B 研究者から、メコン東側は湿地帯でサトウキビ収量が高くなく、南部メコンデルタ地域は乾燥地域であり、200,000ha の確保は可能である、というコメントがあった。表 4.5.2 に示すように、1998 年の状況でもデルタ地域の収量が高いことが分かる。

表 4.5.2 南部の主なサトウキビ栽培状況(1998 年)

省名	作付面積(1,000ha)	収量(t/ha)	収穫量(1,000t/y)
Tay Ninh (内陸部)	28.3	47	1,319
Long An (内陸部)	14.9	50	749
Ben Tre (メコンデルタ)	15.0	61	915
Can Tho (メコンデルタ)	23.8	67	1,594

出典："Statistical data of Agriculture , 1999"より作成

なお、サトウキビ作付面積は 2000 年では、全国で 350,000ha 程度になっており、南部は 200,000 ha を占めている。またサトウキビ価格は 200,000VND/トン(1,600 円/トン)程度という情報がある。

サトウキビ栽培の買い上げ価格には、肥料等の使用を含めた補助金分を考慮した価格としている、という計画投資省の関係者からの情報がある。

3) サトウキビ栽培の課題

ベトナムのサトウキビの収量は熱帯地域に位置するに於ては、ブラジルの平均 65 トン/年と比べるとあまり高いとは言えない。サトウキビ生産は耕地の状況や管理の問題が影響し、灌漑用水の有無で単位耕地当りの収量は異なり、病害虫の問題もある。

NCST では 110 トン/ha/年の収量を目標に研究をしている、というコメントがあった。



北部：ラム・サン工場・周辺サトウキビ栽培地



北部：ラム・サン工場・周辺サトウキビ栽培地



南部：ビン・ホア第2工場・周辺サトウキビ栽培地



南部：ヒーブ・ホア工場・周辺サトウキビ栽培地



南部：ビン・ホア第2工場・サトウキビ栽培地（土地改良）

4) 砂糖産業の現状

現地調査でも分かったことであるが、ベトナムの砂糖産業の現状は必ずしも楽観的なものではなく、国営工場責任者の将来への取り組みに熱心さを感じた。

以下に、日本の農水省が発表している海外情報の概要を紹介する。

ベトナム産の砂糖製品は、コストと品質の両面から問題が残っている。国際市場における価格が年々低下している中、ベトナムの砂糖製品は世界市場の1.5～2倍もの高額であるため、中国、タイからの密輸の問題もある。生産コストが高くなる要因としては、サトウキビ耕作地から砂糖工場までが遠く輸送費が高いこと、サトウキビの歩留りが低いこと(収穫後、時間が経過すると、サトウキビは急速に乾燥し、砂糖の含量が減少するため)などが挙げられる。また、輸出に耐え得る品質を維持できる加工業者は、国内に12工場しか存在しない。

政府は、国内市場における最低価格(等級1の白砂糖は5,500ドン/kg、精製された砂糖は6,200ドン/kg)を設定し、この価格で売り切れなかった工場の在庫をVINAFIMEX(The Vietnam National Agricultural Produce & Foodstuff Import - Export Corporation)が最低価格の2%安で引き取り、その際、銀行からの借入金の金利を政府が補填するという保護政策を実施している。また、1999年9月には砂糖生産にかかる付加価値税(VAT)を半分に減税し、設備購入のために借りた融資の返済を引き延ばすなどの財政支援政策を打ち出した。

現在、砂糖は世界97カ国で生産されており、うち34カ国が輸出を行っているが、そのほとんどの国で輸出補助政策を採用している。ベトナムにおいても砂糖輸出基金の設立などの計画が具体化されつつある。ベトナムの精糖業界は、高品質化への取り組みと同時に、肥料や飼料などの副産物の有効利用などを進めてコスト削減を実現しなければならない。

4.6 砂糖工場

(1) 砂糖工場の現状

ベトナムには砂糖工場は44工場あり、表4.6.1に示すように、北部15、中部15、南部14工場となり、合計サトウキビ処理能力は78,200トン/日であり、その平均処理能力は1,800トン/日である。2,500トン/日以上能力を有する工場は9工場あり、その合計能力は42,000トン/日で全体の53%を占める。工場の所有者別に見ると、政府所属が15工場で能力は36.7%を占める。外国との合弁企業は6工場で平均能力は4,500トン/日である。

砂糖工場はサトウキビの生産に合わせて稼動することから、生産のない時期の雇用確保の問題がある。大規模工場では、サトウキビからの副産品からの加工品(肥料、キャンディー等)の生産をしている。

表4.6.1 地域別の工場分布

地域	工場数	合計能力 (トン/日)	比率 %	平均能力 (トン/日)
北部	15	30,700	39.3	2,050
中部	15	19,350	24.7	1,290
南部	14	28,150	36.0	2,010
合計	44	78,200	100.0	1,780

出典：現地調査ヒアリング (NCST)

表4.6.2 工場の所有者

所有者	工場数	合計能力 (トン/日)	比率 %	平均能力 (トン/日)
政府	15	28,750	36.7	1,920
地方	23	22,450	28.8	980
合弁企業	6	27,000	34.5	4,500
合計	44	78,200	100.0	1,780

出典：現地調査ヒアリング (NCST)

現地調査の訪問先は砂糖・エタノール工場の、北部はラム・サン工場、南部はビン・ホア1、2工場、タイ・フン、タイ・ニン工場である。

(2) 北部の砂糖工場

ラム・ソン工場はハノイ市から南へ 230km に位置するタン・ホア省にある北部主要工場であり、2000 年 1 月に国営から民営工場に移管された。ここでは 2 万ヘクタールの栽培地からサトウキビ 1 百万トン/年を生産し、サトウキビ工場は 6,000 トン/日程度の処理能力をもち、砂糖 12 万トン/年程度、エタノールは 15,000kl/年の能力を有し、国内砂糖生産量の 1 割を占める。

工場の稼働日数はサトウキビの生産時期に合わせ 170 日としており、バガスは燃料に使用するが、10%程度は余り、これは飼料、肥料になっている。また、砂糖の収率は国内平均は砂糖/サトウキビで 1/11 であるが当工場は 1/9.5 と、高い収率で生産している。

訪問時は 9 月で、砂糖工場は休止中で生産開始に合わせて保全作業中であり、エタノール工場のみが稼働していた。

余剰のバガスは木屑のような状態で、一部野積みになっていた。また、モラセスは中国、アジア方面に輸出している。

排水はこげ茶色をしており、一度ピットに入るが、排水処理設備は固液分離、石灰添加処理設備がある他には特に処理設備はなく、隣接する 50m × 100m の大きな池にて溜めており、自然浄化を経た後に灌漑用水（肥料）として周辺田畑に移送される。

現地訪問時の写真を添付する。

(3) 南部の状況

1 回目の現地調査では、ホーチミン市から北方 20km サイゴン河畔に位置するビン・ドゥン(Binh Duong)省にある、ビン・ドゥン工場を訪問した。ここは 1964 年に運転開始し、サトウキビ処理能力 2,000t/日 (350,000 t / y) で、運転はサトウキビ生産 11 ~ 5 月に合わせる。

砂糖生産量は 200t/日 (35,000 t / y) バガスは 600t/日 (110,000 t / y) とサトウキビの 30%、発熱量は 2,000kcal/kg 程度である。当工場では、以前はエタノールを生産 (20 ~ 30kl/年) していたが価格が安く現在は生産していないため、モラセス (18,000 t / y : サトウキビの 6%) はエタノール生産工場に販売している。バガス燃焼後の灰は肥料にする。サトウキビ原料価格は製品価格によって決めている。

2 回目の調査では、ヒーブ・ホア(Hiep Hoa)砂糖・エタノール工場を訪問した。ロン・アン(Long An)省ヒーブ・ホア町のバン・コ川沿いにあり、1952 年から操業している。

サトウキビ処理能力 2,500t/日の工場、砂糖 250t/日を生産している。モラセス 125t/日からエタノール 30kl/日 (4,000kl/y の生産能力あり) を生産し、飲料用として日系企業 factory(工場)に売っている。発酵工程で発生する CO₂ はコンプレッサーで圧縮してボンベ詰めして販売している。バガスからは肥料、合板を生産している。排水量は 100m³/日である。

エタノール製造の発酵槽は 70m³ が 16 基あるが全部は使用していないようだ。

次に、ビン・ホア(Binh Hoa)砂糖・エタノール第 2 工場を調査した。ホーチミン市から 100km

北西部に位置するタイ・ニン(Tay Ninh)省タイ・ニン市郊外のバー・デン山麓にあり、田園地帯の真中に位置する。粗砂糖はビン・ホアの精製工場に運ばれることから、ビン・ホア第2工場と呼ばれている。

タイ・ニン省には3工場があり、この工場(原料3,500t/日)の他に Bourbon-Tay Ninh 工場 8,000t/日、Soc Trung 工場 1,000t/日がある。

運転員は140名/直で3交替であり、従業員は全部で500名。

原料は15トン積みトラックで1日240車分が運び込まれる。受け入れ時は2箇所ですamplingし、糖分含有量等をチェックする。当日は前夜の雨で工場がストップし、午後1時の見学時に当日の最初のトラックが入るところであった。一時間後にはかなりのサトウキビが入荷していた。砂糖は4回の濃縮工程があり、夫々の工程毎に品質等級(A-D)がある。さらに粒径の小さい品質の製品も製造している。バガスはコンベアでボイラーに運ばれる(バガス処理能力650t/日)、余剰バガス(250t/日)の一部(90t/日)は粉体にして肥料の原料とする。

前日の運転状況(CRT画面データ): 砂糖 285.3t/日、モラセス 132.1t/日

モラセス量はサトウキビ当り5-7%、砂糖は9%である。

バガスボイラーの灰は池に溜めている。

工場一式はオーストラリアの建設で30百万ドルとの事である。

7千ヘクタールのサトウキビ栽培地、3,500トン/日の処理能力を有し、砂糖は300トン/日程度を生産しているが、エタノールは現在生産していない。

現地訪問時の写真を添付する。

なお、砂糖工場で生産される粗砂糖は純度も低く、更に精製して製品になる。南部ではホーチミン市東側のドン・ナイ(Dong Nai)省ビン・ホア工場団地内にあるビン・ホア砂糖精製工場を訪問したが、ここでは砂糖精製のほかに、キャンディー等の砂糖製品も製造している。



北部：ラム・サン工場・外観



北部：ラム・サン工場・内





南部：ビン・ホア第2工場・サトウキビサンプリング設備



南部：ビン・ホア第2工場・バガス置き場



南部：ピン・ホア第2工場・圧搾工程設備



南部：ヒープ・ホア工場・砂糖生産設備

5 プロジェクトの立案

5.1 プロジェクトの内容

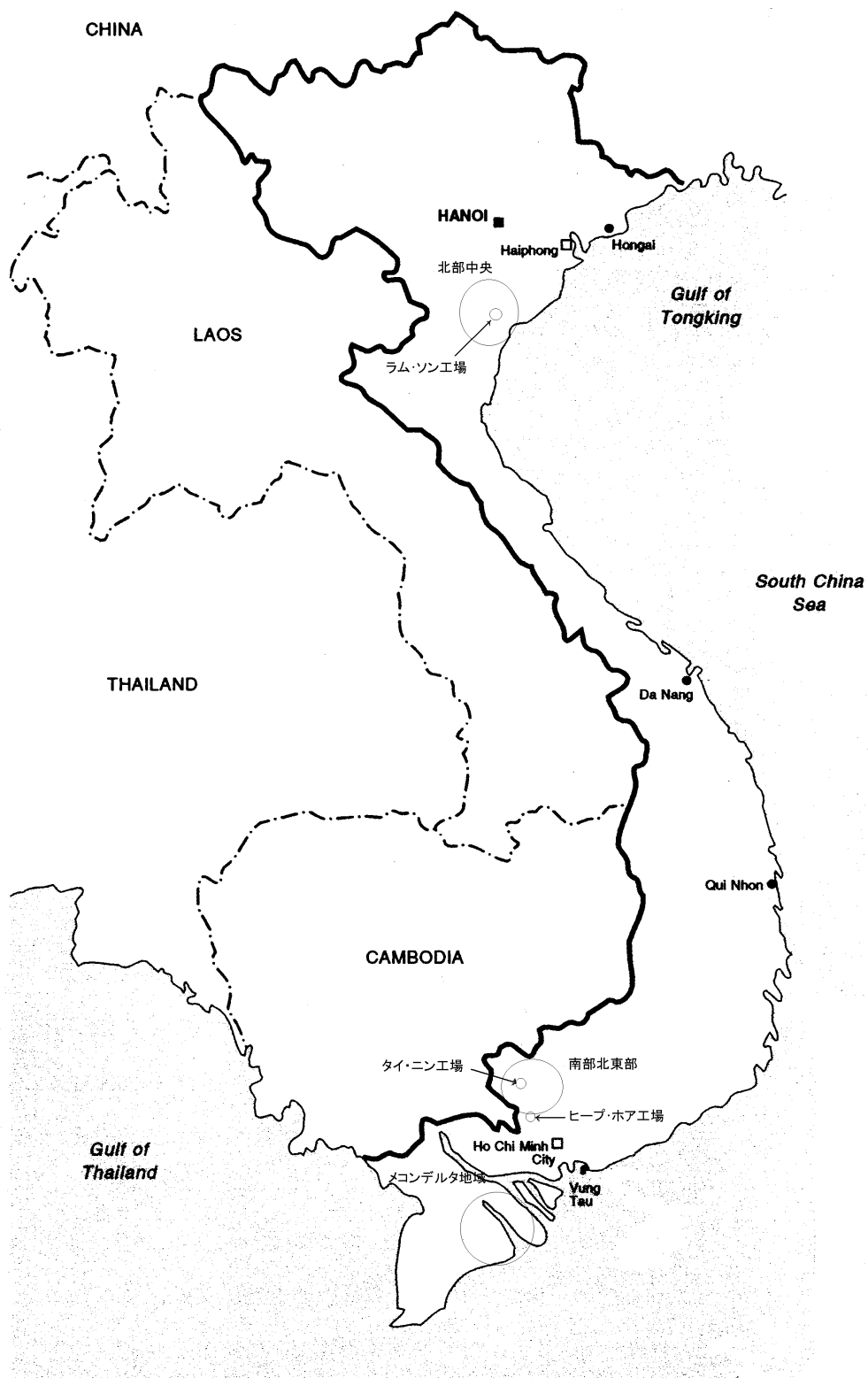
(1) 対象地域の範囲

エタノール工場の適地としては、栽培面積として最低 20,000 ヘクタール程度が必要と想定している。栽培地のエリアには住宅地域等の農地以外の土地を含むことから、その 2 倍の面積を確保出来る地域となる。ベトナムではサトウキビ栽培地は全国に広がっており、広大な未利用地のあるところであれば全国で可能である。サトウキビの生産に積極的な地域として、中央北部のタン・ホア省、南部のタイ・ニン省があるが、メコンデルタ地域には 200,000 ヘクタールの栽培可能地があるとの現地調査のコメントがある。

ガソリンの需要は南部が 65%、北部が 25%を占めることから、南部を核とすることになるが、候補地としては南部メコンデルタ地域、南部内陸部（ホーチミン市北部方向の内陸部）、中央北部（ハノイ南部方向）を対象とする。

（図 5.1.1 を参照）

図 5.1.1. エタノール工場の対象候補地及び現地調査工場の位置



(2) 技術分野

1) エタノール製造技術

本調査で対象とするセルロース系バイオマス原料からエタノールを生産するプロセスは、糖化、発酵、エタノール分離、排水処理工程からなる。

セルロース系バイオマスとしては、農業廃棄物であるサトウキビからの砂糖の搾りかす（バガス）、キャッサバの茎、トウモロコシの茎、稲・小麦の藁等がある。

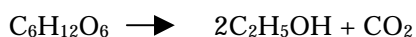
サトウキビからの砂糖工場では、バガスは砂糖生産の結晶化工程に必要な熱源（スチーム）の燃料として使用され、その残りは肥料、飼料等の他、合板材としても利用されている。バガスにはセルロース分が50%程度含まれており、これを糖化すればエタノール原料になる。また廃糖蜜（モラセス）は、そのまま酵母による発酵によりエタノールが生産される。

糖化工程で、セルロースを加水分解して糖分であるグルコースとする、研究開発については古くから米国を中心に行われており、わが国においても新燃料開発技術研究組合（以下、研究組合という。）にて実施している。当社グループでは米国企業と、都市ゴミ廃棄物のバイオマスからのエタノール製造に関する研究開発を実施した経験を有する。

糖化工程は、硫酸を使用する酸加水分解方法とセルラーゼ酵素によるバイオ技術による方法がある。前者は技術的に完成されているが、設備面を含めたコストが高く、将来的にコスト削減の効果が期待できない。一方、後者については現状技術では酵素の活性が低く、反応に時間を要することから開発途上の技術といえるが、前処理工程の改善やセルラーゼ生産能の高い微生物の育種等による酵素を多量に生産する方法の開発により、将来的に大きなコストダウンが期待でき、精力的に開発が実施されており、近年の技術革新による近未来における技術の確立がなされるものと見られている。コスト削減効果について、米国のプロジェクトでは2010年でエタノール生産コストは60セント/ガロン（19円/リ）を目標としている。なお、2001年からスタートする米国の大型プロジェクトの例では、希硫酸法を採用しているが将来の酵素法への転換にはそのまま設備が転用できる、ということを前提としている。

（出典：“Outlook for Biomass Ethanol Production and Demand” NEIC (National Energy Information Center Apr. 26, 2000、アルコール協会ヒアリング情報、他)

糖化工程で得られたグルコース及びモラセスは発酵によりエタノールを生成する。これは理論的には51%の収率でエタノールが得られ、合わせてCO₂が発生する。



エタノール発酵を効率化するにはエタノールの収率向上、発酵時間の短縮が課題であり、エタノール耐性菌の育種等の他に、固定化微生物（微生物を高分子担体に固定化したもの）による連続発酵法がある。

糖化及び発酵工程を同時に行うSSFプロセス（Simultaneous Saccharification and Fermentation）が開発中であり、これによるコストダウンの効果の試算もされている。

（出典：“Ethanol form Biomass by Enzymatic Hydrolysis” Chem. Eng. Prog. 62, August 1988）

以下に本プロジェクトにおけるエタノール製造技術及び技術開発課題の概要を記す。

(a)前処理工程

糖化工程にてセルロースを効率よく加水分解して糖を生成させるためには、前処理としてバガス中に含まれるリグニンの分離、反応面積の増大、あるいはセルロースの結晶化度や重合度の低下などが必要である。

前処理方法としては、物理的方法(微粉碎、電子線、マイクロウェーブ照射、爆砕法)、化学的方法(オゾン処理、有機溶媒、酸、アルカリ処理)がある。バガス等のアルカリ処理は、原料中の結晶性セルロース部分が少なく、脱リグニンも比較的容易であるため、水酸化ナトリウム等のアルカリ溶液処理で、高い糖化率を得ることが出来、さらに糖化における速度増大が可能となり、湿式微粉碎により表面積が増加される。

(b)セルラーゼ生産工程

セルロース分解酵素であるセルラーゼは、セルロース系バイオマスの糖化に大量に使用するため、高力価生産株の分離、育種、安価な製造法の検討、反応方式の改良が必要である。

セルラーゼ生産に要求されている課題としては、以下の点が挙げられる。

- (1)培養液中の酵素濃度の確保
- (2)酵素生産コストの低減
- (3)効率のよい糖化に必要な酵素構成比を有すること

(1)については半回分式培養方法により、高い力価のセルラーゼを得られる。

(2)については炭素源として使用される結晶性セルロース(例えば、アビセル)でなく、より安価なアルカリ処理バガス、稲ワラでも、アビセルの約7割程度の活性が得られる。

(3)については、酵素はセルロースの結晶ミセルの崩壊を起こすエンドー1, 4-β-グルカナーゼ、結晶ミセル崩壊セルロースの非還元性末端からセロピオース単位に切断するエキソ1, 4-β-グルカナーゼ、セロピオースをグルコースに分解するセロピアーゼ、さらに崩壊セルロースから直接グルコースを生ずるエキソ1, 4-β-グルコシダーゼなどの複合酵素である。糖化に必要な構成酵素比を有するセルラーゼの確保については、CMCaseとβ-グルコシダーゼの酵

素活性の比で定まってくる全糖化液中のセロピオース量を 5%以下にするため、 α -グルコシダーゼ活性を上げることが重要な課題になってくる。

セルラーゼ生産菌としては *Trichoderma reesei*、*Aspergillus niger* などが知られており、より高力価のセルラーゼを安定して得る必要がある。

(c)糖化工程

リグノセルロースは分子量 600,000 ~ 1,500,000、重合度 3,500 ~ 10,000 の高分子化合物であり、酵素による分解に対して極めて抵抗力が大きい。これはリグニン高分子の三次元的な保護効果のためばかりでなく、セルロース高分子中の β -1, 4 連鎖結合の存在によるもので、でん粉等の α -1, 4 連鎖結合に比較して容易に加水分解されにくいことに原因がある。

セルロース性物質の酵素糖化の際、生成糖による生産物阻害が起る。特に酵素糖化の後期段階では生成糖による生産物阻害のため酵素作用が抑制され、糖化率が低下する。これを解決するため、管式糖化あるいは多段式連続糖化など各種反応形式の開発が行われている。

(d)セルラーゼ回収工程/糖濃縮工程

純粋なセルロースを使用してセルラーゼを生産した場合は、セルラーゼの価格は極めて高いものとなる。糖化反応に使用した酵素は回収して再利用することが必要になり、UF 膜を用いる。

低濃度糖化による場合は酵素初濃度を高くする程、酵素の回収率が高くなり、初濃度 150IU/ml では 90%以上の回収率が得られる。高濃度糖化の場合には遊離酵素の分析結果により、酵素の回収率は 40 ~ 70%の範囲にある。これは糖化率が低いため、残渣に酵素が吸着することによるものである。

(e)アルコール発酵工程

アルコール発酵反応では、最終生産物による阻害、低い菌体濃度及び基質による阻害がある。

固定化増殖酵母または細菌による方法は、高い菌体濃度と高発酵速度を得ることができ、これにより発酵槽、攪拌機などの高価な設備は不要となり、リアクターにおける滞留時間は極めて短縮することができる。

アルギン酸カルシウム・ゲル包括酵母を使用したバイオリアクター及びフラッシュ槽を併設した固定化-フラッシュ発酵方法がある。それにより、高効率でのアルコール発酵が可能になり、アルコールの生産性は通常のバッチ式発酵に比べて 20 ~ 30 倍となり、原料の糖濃度は 10%程度から 25 ~ 30wt%の範囲まで上げることが可能となる。

アルコール発酵において、モロミ中のアルコール濃度を高くすることは省エネルギー面から、また廃液量の低減からも重要なことであり、RO 膜装置(逆浸透膜)を使用する。

なおキシロース発酵については、アルコール発酵の経済性から技術開発が必要である。

(f) エタノール濃縮工程

エタノール濃縮工程の効率化には通常の蒸留法に加えて、超臨界ガス抽出法（物質に固有な臨界温度と臨界圧力を超えた状態にあるガスを抽出剤として使用する方法）の採用も考えられる。超臨界ガス抽出法で炭酸ガスを用いた場合は、エタノール水溶液に炭酸ガスを超臨界状態で溶解させると相分離が起こり、上層にエタノールを多く含む層が、下層に水の層が生ずる。炭酸ガス中へのエタノールの溶解量が小さいこともあり、高い回収率を得るためにはガス（炭酸ガス）/原料比を 20～30 の範囲にする必要があること、その他エタノール以外の不純物もエタノールと挙動をともしする傾向にあることから、エタノールの純度は通常の蒸留法に比較して悪くなる。

(g) 脱水工程

脱水工程は、通常ベンゼン等の第 3 成分を加えた共沸蒸留を採用する。浸透気化膜（パーパーレーション膜）装置により、高濃度エタノール溶液より無水エタノールを分離する方法も考えられる。

(h) 廃液処理工程

エタノール蒸留廃液及び糖化工程からの廃液は、高い COD 含有量を含むため、一般的な好気性生物処理（活性汚泥法）の前処理として、嫌気性生物処理が必要である。嫌気性生物処理の特徴は、酸素の供給を必要としないためエネルギーコストが小さい、汚泥量が少ない、燃料用としてのメタンを発生するというメリットがある一方、反応速度が遅い、処理効率が低い、硫化水素（悪臭・腐食を起こす）の発生等のマイナス面がある。しかし、メタン菌の高濃度化あるいは固定化によるメタンの高効率、処理の高負荷発酵法が開発されつつある。

好気性生物処理はバクテリア等の好気性生物群（活性汚泥）を混合培養して、排水中の有機物を分解、資化させると同時に菌体に変換し、菌体は固形物として分離除去する方法で、低濃度の有機物を含む大量処理向けの技術である。

2) 本調査のエタノール生産工程

(a) 原料

サトウキビは栽培地で伐採され、葉と頭部は切り離される。その比率は研究組合では 18% としているが、他の報告では、35～40% という報告もある。サトウキビの茎は工場に運ばれる。

（出典：“Rural use of lignocellulosic residues” Food and Agricultural Organization of the United Nations, 1989）

エタノール生産のバイオマス原料は、サトウキビから砂糖の生産の搾りかすであるバガスであり、砂糖を結晶化させた残りの汁であるモラセス（廃糖蜜）も原料とする。

現地のヒアリング調査では、バガスはサトウキビ当り 10%程度が余剰となるというデータがあるが、結晶工程・バガスボイラーの効率化により、余剰分を多くすることは可能である。研究組合では 13%である。モラセスについてはサトウキビ中の糖分及び砂糖の収率との関係により、3~7%程度が併産されることになり、研究組合では 3.2%としている。

(b) プロセス

サトウキビから砂糖を製造する工程は、圧搾、糖汁（シュガージュース）回収、結晶化、遠心分離工程からなる。

また、バガスからエタノールを製造する工程は、研究組合のフィージビリティ調査と同様とし、以下のとおりとする。なお、モラセスは糖分であるので、発酵工程からの処理となる。

前処理	2 段連続爆砕・アルカリ処理
糖化	酵素による加水分解法
発酵	固定化酵母法による連続発酵
脱水	3 成分共沸
排水処理	嫌気性生物処理（メタン発酵）及び活性汚泥処理

製造工程の物質収支については、現地調査及び文献調査により工程別のデータを入手したが、研究組合のデータと大きな差はなく、今回は調査結果への影響は小さいこと及び統一性を図ることからも、基本的には研究組合のデータを採用する。すなわち、砂糖の収率は 12%とし、モラセスは 3.2%、バガス/モラセスは $13/3.2 = 8/2$ とする。

本調査のフロー及びサトウキビからエタノール生産工程の物質収支を図 5.1.2、5.1.3、5.1.4、5.1.5 に示す。

なお、物質収支では、サトウキビの栽培地での葉・頭部の残材として 18%としているために、砂糖生産後の、その他の割合が大きくなっている。その他の成分として、葉・頭部の残材の比率については品種にも拠るが、40%にも達する例があり、その場合には工場への持込の量が少なくなる。また、その他としては、フィルターケーキ（研究組合の例では 3.6%）及び水分があり、フィルターケーキについては肥料に利用されている場合がある。水分については、蒸発ロスとなる。

図 5.1.2 エタノール工場工程 (砂糖+エタノール生産)

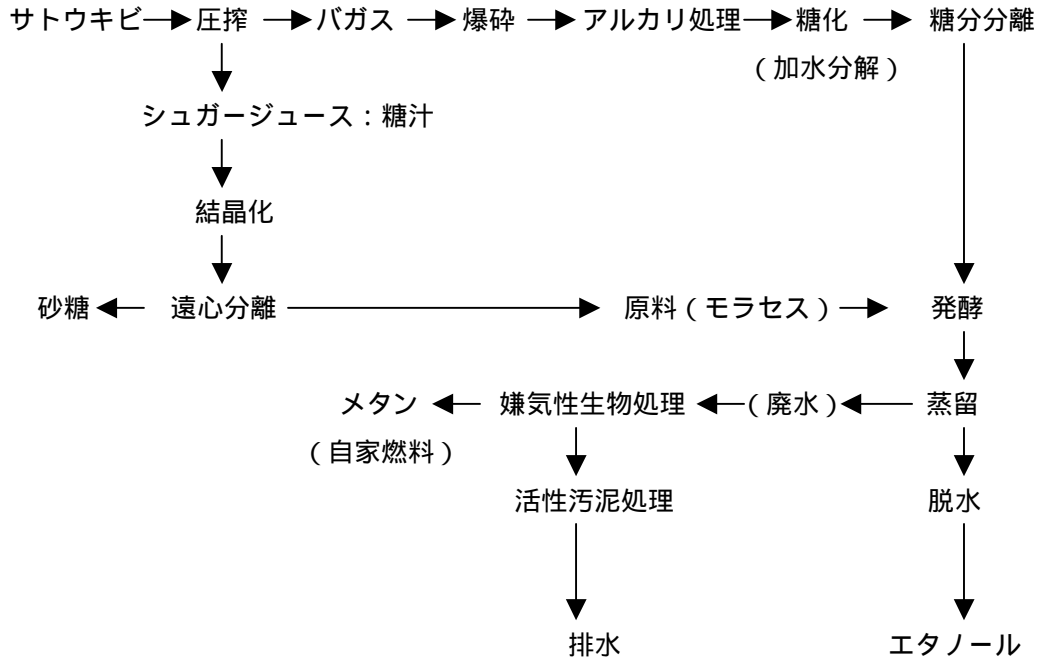


図 5.1.3 エタノール工場工程 (エタノールだけの生産)

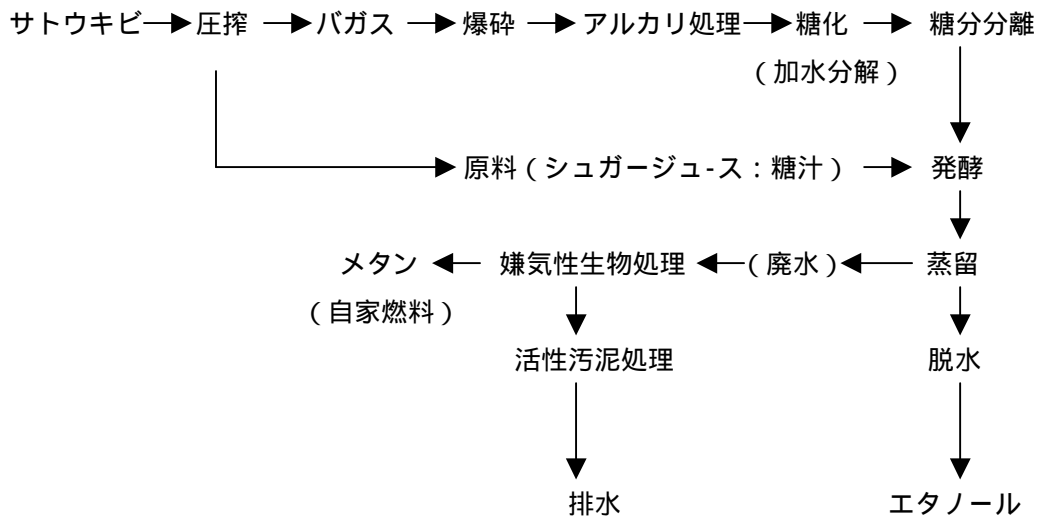


図 5.1.4 物質収支 (砂糖+エタノール)

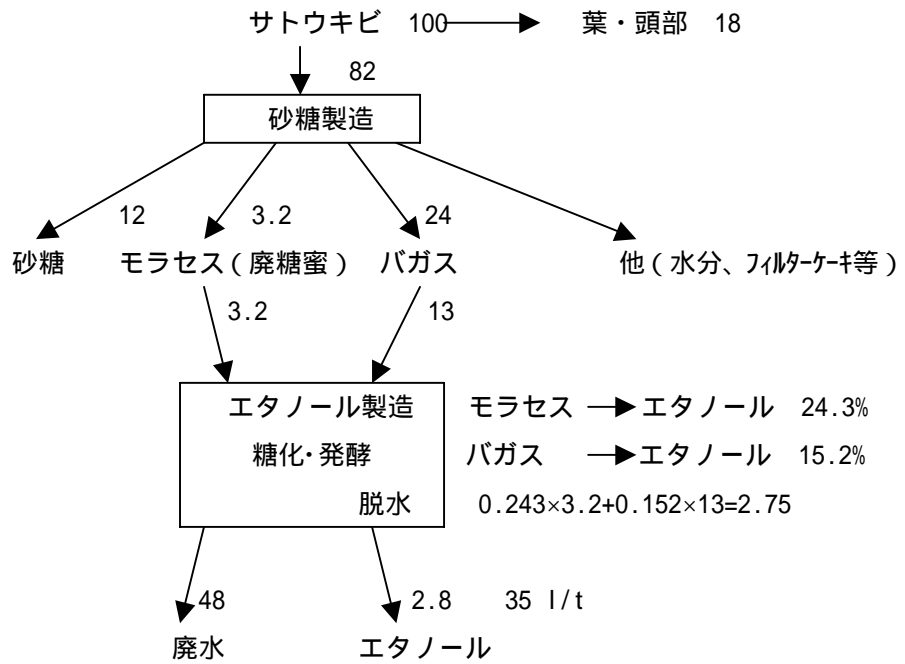
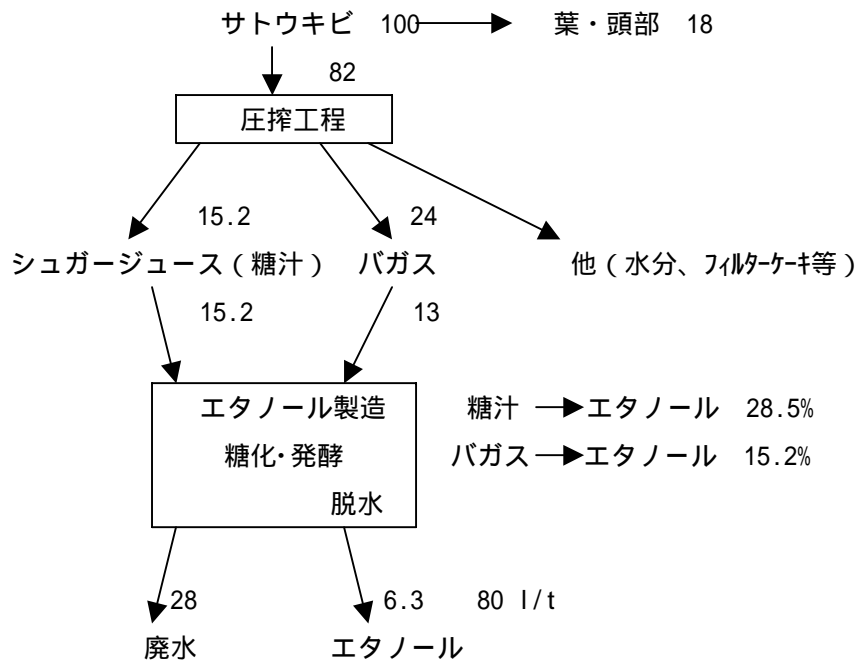


図 5.1.5 物質収支 (エタノールだけの生産)



2) ガソホル生産技術

(a) エタノール混合ガソリン

ガソリンへのエタノールの含有量については、ブラジルでは 22vol%、米国では 10vol%が通常のガソリン製品と同様にして販売されており、自動車も通常のガソリン車である。ブラジルでは、95%エタノール(5%水分が残っている)燃料も並行的に販売されているが、この場合にはエタノール用自動車(燃料供給システムを含めたエンジンの改造等が必要)が使用されている。

ブラジルでは、エタノール混合ガソリン(ガソホル)は多い時で需要量の50%(1990年)を占め、米国では地域的に中央部で多く使用されている。

本プロジェクトでは、以上のような混合安定性及び自動車エンジンへの影響のない20%程度(20wt%)を採用し、95%エタノール燃料は採用しない。

(b) ガソリンの需要量

ガソリンの需要量予測については4.9の項で述べたように、年率8%の伸びると見ている。表5.1.1に示すように、1997年以降はアジア全体の経済危機の影響を受け、GDPが5%程度まで下がり、ガソリンの需要もそれ以前の9%台から5%台に下がっている。しかし、アジアの経済は再び上昇傾向になり、今後のガソリン需要の伸びが期待されるのは当然だろう。本調査では8%の伸び率を前提として検討する。表5.1.1に示す2005年までの各年の需要量は8%/年で按分して算出している。参考として、ガソリン全量がガソホルに置き換わるとした場合のエタノールの必要量を最下段に記す。

表5.1.1 ガソリン及びエタノール需要量

(実績)								
	1997	1999	2000	備考				
ガソリン(1,000 bbl/d)	38.2	42.7		5.7%/年				
(1,000 t/y)		1,857	1,943	4.6%/年				
GDP (%)	9.0	5.8	4.8					
(予測)								
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	備考
ガソリン(1,000t/y)	1,857	1,943	2,166	2,339	2,526	2,728	2,950	8.0%/年
(1,000b/d)	43.8	45.9	51.1	55.2	59.6	64.4	69.6	比重0.73
エタノール(1,000t/y・全量)			433	468	505	546	590	20wt%含有
(1,000b/d)			9.4	10.2	11.0	11.9	12.9	比重0.79

3) プロジェクトの考え方

(a) エタノール生産形態

サトウキビからエタノールを生産する場合に、既存の大規模工場の場合では砂糖とエタノール生産は同一工場で行われ、物流の合理化を図っている。ブラジルでは砂糖を生産しないでエタノールだけの生産を行う工場があり、1997年の状況として、65%の工場がエタノールだけの生産を行っている。(出典: IEA Task 26 newsletter, May 1998)

本調査では、ベトナムにおいて、現状では砂糖生産中心の政策が基本であることから、砂糖とエタノールを生産するケース(ケース1)、エタノールのみを生産するケース(ケース2)について検討することとする。

(b) 工場規模

サトウキビを原料とする工場では、サトウキビの収集に大きな運搬コストが必要となることから、最大規模が設定される。サトウキビの収量をベトナム南部メコンデルタ地域平均の60トン/haとし、作付面積を20,000ヘクタールと想定すると、半径8kmとなるが実際には住居その他が介在することになり、15kmになるとの現地のコメントがある。米国では半径23マイルの例もあり、これ以上も可能であるが、北部ラム・サン工場のサトウキビ処理能力100万トン/年を参考にして、20,000ヘクタールとし、120万トン/年のサトウキビが得られることとする。

砂糖工場の稼働率はサトウキビの備蓄が難しいことから生産に合わせるようになるために、生産時期の11月頃から5月頃までの半年間(180日)となる。エタノール工場は砂糖工場併設ケースでは、バガス及びモラセスの短期間の貯蔵が可能であることから、9ヶ月間の稼働が可能とし、270日稼働とする。表5.1.2に1工場の規模と生産能力を示す。

表 5.1.2 1工場の規模と生産能力

	ケース1	ケース2
生産形態	砂糖併産	エタノールだけの生産
サトウキビ処理能力	6,700 t/日(180日稼働)	6,700 t/日(180日稼働)
砂糖生産量*	144,000 t/y	なし
エタノール工場原料処理能力	194,000 t/y (270日稼働)	301,000 t/y (270日稼働)
エタノール生産量**	42,000 kl/y (980b/d)	96,000 kl/y (2,240b/d)

(注) * $1,200,000 \times 0.12 = 144,000 \text{ t/y}$

** ケース1 $1,200,000 \times 0.035 = 42,000 \text{ kl/y}$

ケース2 $1,200,000 \times 0.080 = 96,000 \text{ kl/y}$

(c) 工場建設に伴うガソール導入量

本調査では、2005年でガソリンの需要量の約1/2がガソールに転換された場合を想定する。砂糖併産ケースとエタノールのみ生産のケースにおいて、必要となる工場数及びエタノール生産量等を表5.1.3に示す。

表 5.1.3 工場数及びエタノール生産量(2005年)

	ケース1 (砂糖及びエタノール)	ケース2 (エタノール)
工場建設数	9	4
サトウキビ作付面積(千 ha)	180	80
サトウキビ供給量(千トン/年)	10,800	4,800
砂糖生産量(千トン/年)	1,300	-
エタノール生産量(千kl/年)	378	384
ガソール供給量(千B/D)	35	35

(3) 実施スケジュール

1) プロジェクトの準備

本プロジェクトは、サトウキビからのエタノールの生産、供給体制を含む農業政策、及び燃料転換を行うというエネルギー計画の方針決定を経て実行に移されることになる。

本プロジェクトの前提となる、サトウキビ栽培地の確保、工場地の立地・設計等の準備期間が必要になり、この点については現地側とのすり合わせはまだ実施していない。

プロジェクトの実施に当たっての概略の検討内容は、以下のようになる。

- ガソール供給のインセンティブの確定
- ガソール供給の基本計画の構築
- 政府当局の計画承認への準備
- 計画実施に伴う、資金計画・建設工事の実行

本調査では、プロジェクトの実行に関する検討は 2001 年度から開始されるとし、ガソールの供給開始は 2003 年度から可能とする。この理由としては、新規の栽培地からの生産及び工場の稼働は遅れても、既存砂糖工場におけるエタノール生産の合理化等によるエタノールの供給確保の期待が想定できること、ベトナム政府の決定は一度決定されると実行は意外と早い、ということを考えている。

2) エタノール供給スケジュール

本プロジェクトは 2001 年度から検討準備が実施されるとし、第 1 期分のエタノール生産工場の建設及びサトウキビ農場からの生産が 2003 年度には可能とする。その割合は計画の 1/2 程度とし、ガソールの供給量はガソリンの 25% を目標とする。2 期分としては 2005 年度の完成を目標とし、2005 年度にて完了する。その時点ではエタノール含有ガソリンは 50% のシェア-があることとする。

実施スケジュールの概要を表 5.1.4 に示す。

表 5.1.4 実施スケジュール

	2001	2002	2003	2004	2005	備考
計画の策定	—————					
ケース 1						砂糖+エタノール生産
4 工場						2003 年から生産開始
サトウキビ						
用地の確保	—————					
栽培	—————					
エタノール工場						
設計・建設	—————					
運転	—————					
5 工場						2005 年から生産開始
サトウキビ						
用地の確保	—————					
栽培	—————					
エタノール工場						
設計・建設	—————					
運転	—————					
ケース 2						エタノールのみ生産
2 工場						2003 年から生産開始
サトウキビ						
用地の確保	—————					
栽培	—————					
エタノール工場						
設計・建設	—————					
運転	—————					
2 工場						2005 年から生産開始
サトウキビ						
用地の確保	—————					
栽培	—————					
エタノール工場						
設計・建設	—————					
運転	—————					

表 5.1.4 に示す生産スケジュールに従い、エタノールが供給されるとすると、各年におけるガソリンとガソホール供給バランスは表 5.1.5、5.1.6 に示すようになる。

表 5.1.5 ガソリンとガソホール供給バランス(ケース 1)

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	備考
ガソリン (1,000t/y)	1,857	1,943	2,166	2,339	1,863	2,065	1,455	
(1,000b/d)	43.8	45.9	51.1	55.2	44.0	48.7	34.3	比重 0.73
ガソホール (1,000t/y)					663	663	1,495	20wt%含有
(1,000b/d)					15.4	15.4	34.8	比重 0.74
合計 (1,000t/y)	1,857	1,943	2,166	2,339	2,526	2,728	2,950	8.0%/年
(1,000b/d)	43.8	45.9	51.1	55.2	59.6	64.4	69.6	比重 0.73

(注)2005 年のガソホールの供給量は 1,495,000 t/年(A)(2,020,000kl/年(B) 34,800b/d (C)ガソリン需要の 50%)であり、エタノールの必要量は 299,000 t/年(378,000 kl/年、6,510 b/d)となる。

$$(B) = (A) / 0.74 (\text{比重})$$

$$(C) = (B) / 365(\text{d/y}) / 0.159 (\text{kl/b})$$

表 5.1.6 ガソリンとガソホール供給バランス(ケース 2)

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	備考
ガソリン (1,000t/y)	1,857	1,943	2,166	2,339	1,768	1,970	1,434	
(1,000b/d)	43.8	45.9	51.1	55.2	41.7	46.5	33.8	比重 0.73
ガソホール (1,000t/y)					758	758	1,516	20wt%含有
(1,000b/d)					17.6	17.6	35.3	比重 0.74
合計 (1,000t/y)	1,857	1,943	2,166	2,339	2,526	2,728	2,950	8.0%/年
(1,000b/d)	43.8	45.9	51.1	55.2	59.6	64.4	69.6	比重 0.73

(注) 2005 年のガソホール供給量は 1,516,000 t/年(2,049,000kl/年、35,300b/d (C)ガソリン需要の 51%)であり、エタノールの必要量は 303,000 t/年(384,000 kl/年、6,600 b/d)となる。

5.2 資金計画

建設資金等の総費用の調達は、環境対応の ODA 借款とする。

5.3 カウンターパートとの実施体制

ベトナム側の接触先としては、サトウキビ栽培及びエタノール生産に関わる基本的な考え方へのコメント及び情報入手先としては、国立国立自然科学技術研究所（NCST）及びその傘下にある熱帯生物研究所（ITB: Institute of Tropical Biology）である。また、ガソリンの生産・需要・供給に関する考え方へのコメント及び情報入手先は、ペトロベトナム石油公社・石油プロセス技術開発センター（RDCPP）である。今後のプロジェクトの実施の検討に当たっては、現在接触しているカウンターパートを通じて、より具体化な内容についての共同検討を実施する。

プロジェクト実施準備の検討及び基本計画策定のための詳細検討は現体制で実施するが、基本計画策定後のプロジェクトの実施段階では、農業政策方針決定機関である農業・農村開発省、ガソリン生産を担当しているペトロベトナム石油公社及び石油製品の輸出入、販売を担当する政府関係機関のペトロレミックス社等を含めた全体計画の策定になる。

国立国立自然科学技術研究所/熱帯生物研究所

National Center for Natural Science and Technology (NCST)
/Institute of Tropical Biology (ITB)

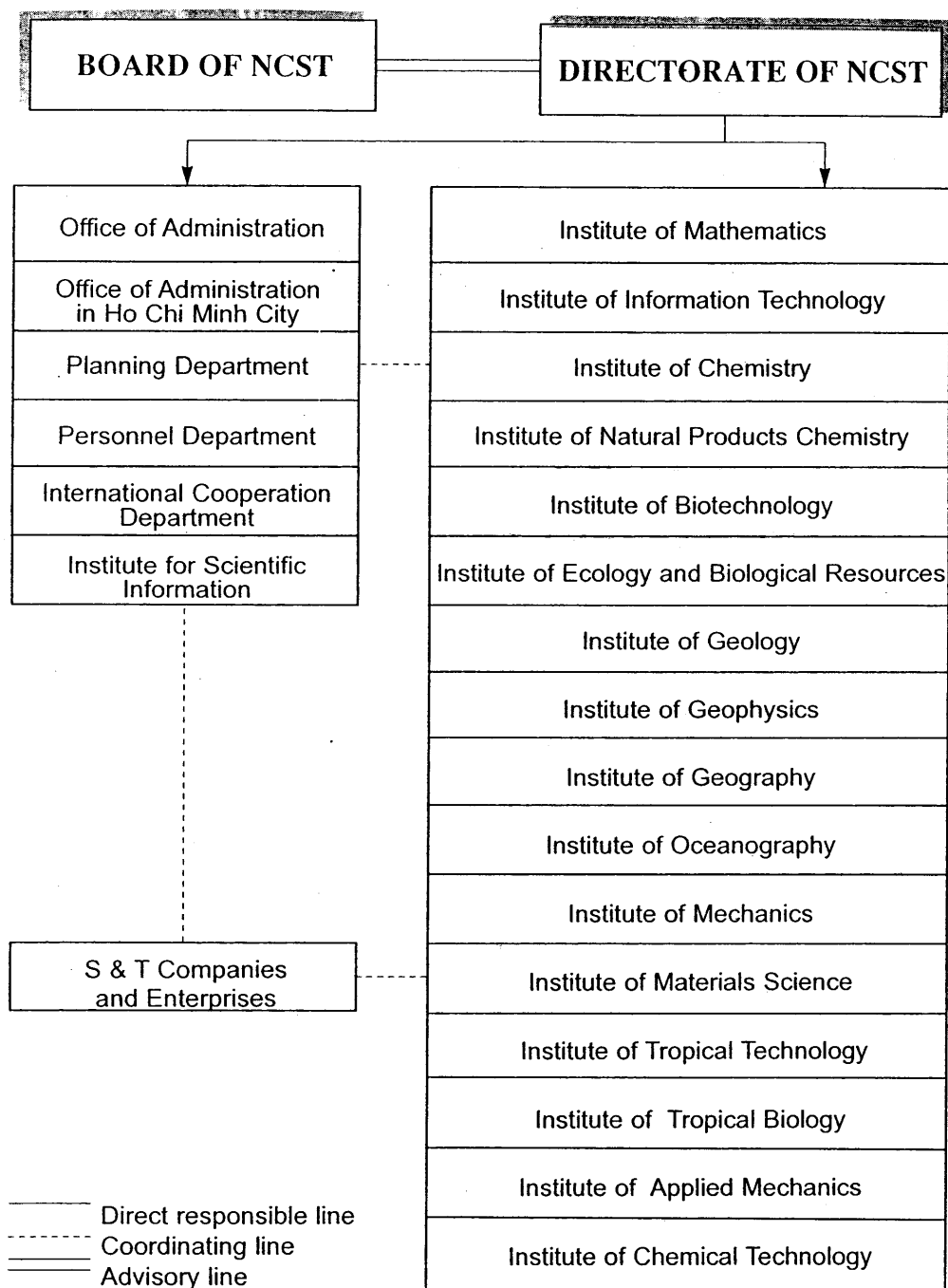
ペトロベトナム石油公社・石油プロセス技術開発センター

PetroVietnam/R&D Center for Petroleum Processing (RDCPP)

熱帯生物研究所（ITB）の関係及び、ペトロベトナム石油公社及び石油製品の輸出入、販売を担当する政府関係機関のペトロレミックス社の関係を、図 5.3.1 及び図 5.3.2 に示す。

図 5.3.1 NCST 及びその傘下の研究所

Organizational structure



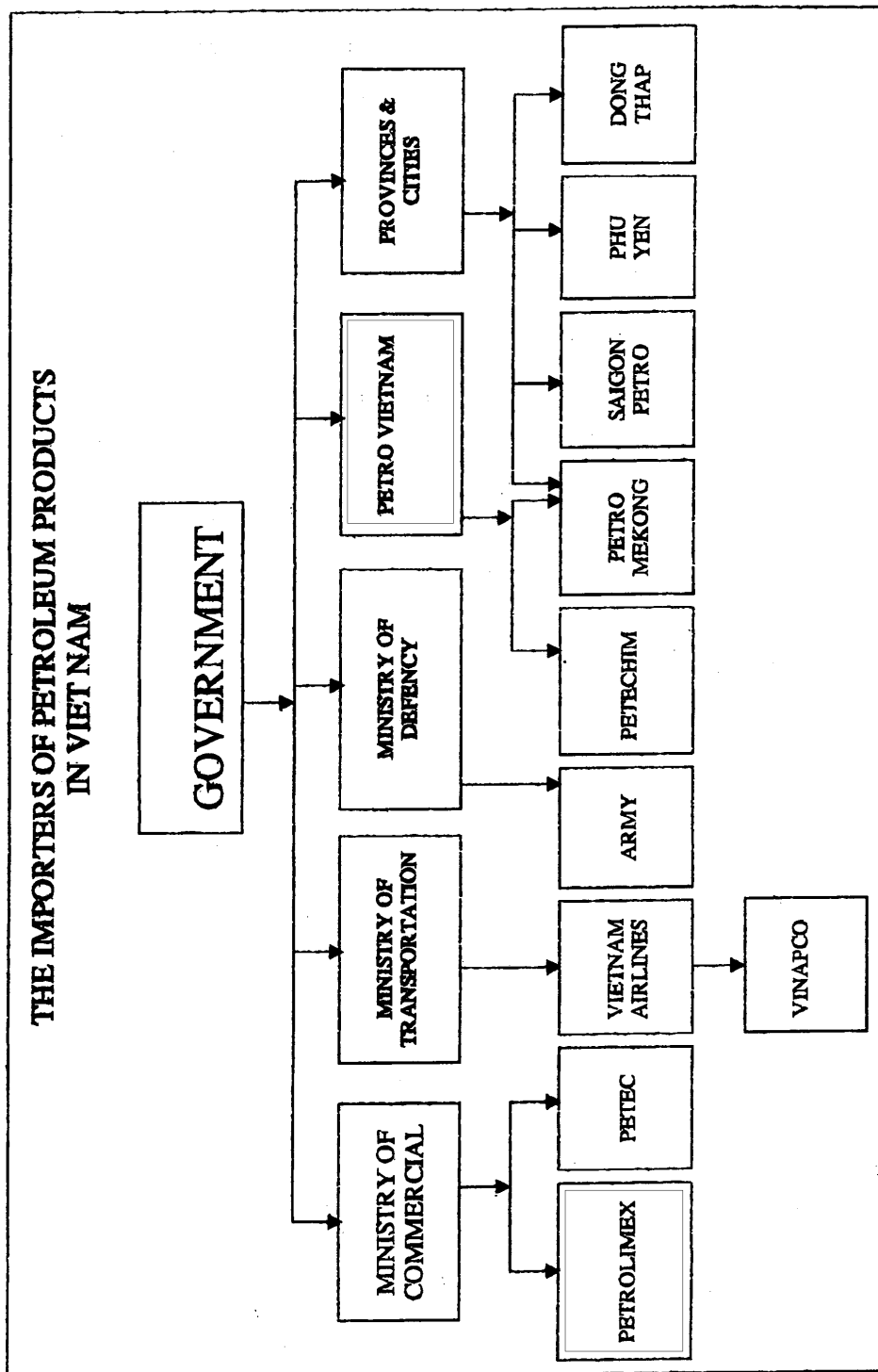


図 5.3.2 ベトナムにおける石油製品輸入業者の関係

6 プロジェクトの効果と評価

6.1 対象となる温室効果ガスの排出量の試算

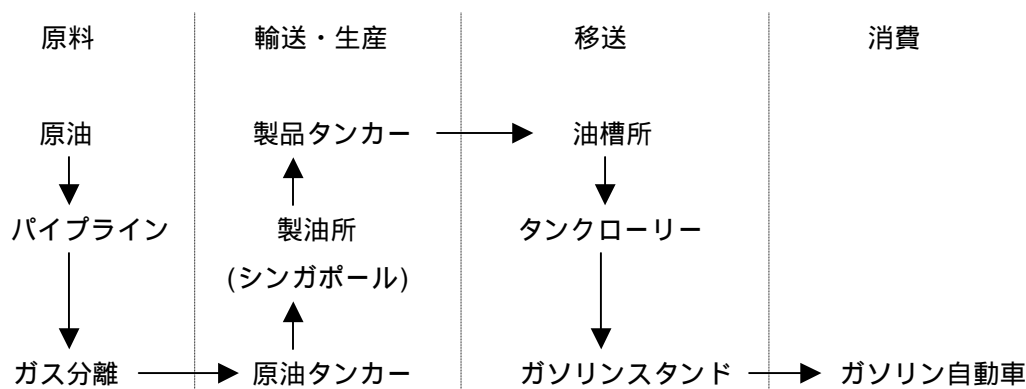
(1) 技術的根拠

1) 石油製品における LCA 分析

石油製品の生産工程は、原油の採掘から始まり、輸送、生産（精製）、製品の移送の各段階から成り立っており、各段階でのエネルギー消費量、CO2 負荷量を算出し、それらを合計して算出することになる。

ライフサイクルを検討する場合には対象とする範囲を明確にする必要がある。ガソリン及びエタノールの原料、輸送・生産、移送、消費の各段階のイメージについて、以下に記す。

ガソリンのライフサイクルのイメージ



ガソリンの場合には、原料段階においては原油の油井からの採掘後、パイプラインにて貯蔵設備まで移送し、ガス分離後、原油タンカーにて製油所に輸送される。ベトナムの場合には国内原油をシンガポールの製油所まで輸送してガソリンを生産する。製油所の生産（精製）工程は、大きく、蒸留・精製・改質・調合等の工程を経て製品が生成される。ガソリン製品は製品タンカーでベトナムの油槽所まで運ばれる。油槽所からはガソリンスタンドまでタンクローリーで移送され、消費段階ではガソリン自動車、バイク等で燃焼消費される。

以上の各工程でのエネルギー消費量及び環境負荷物質の排出量を算出して総合評価を行うことになる。ガソリンの場合の評価では、ガソリンのエネルギーを消費する燃焼工程の割合が大きいのは当然であるが、その他の工程では、生産工程における製油所のエネルギー消費量が相対的に大きい。

なお、精製段階についての LCA 分析を実施する場合においては原油を精製して各石油製品に分けるために、製品毎の消費エネルギーを算出することになる。その手法は以下の手順で行う。

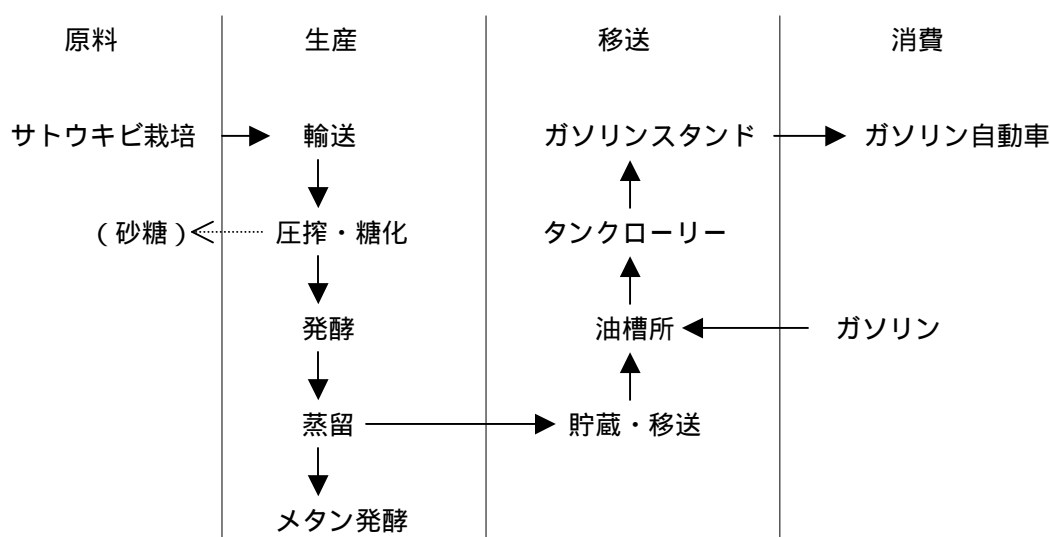
原油を精製する製油所のフローシート作成、物質収支作成

製油所内の構成する精製装置のエネルギー原単位算出、エネルギーの FOE 換算

精製装置の製品収率でエネルギー消費量を配分

オフサイト、共通部門装置分については製品生産量で配分

バイオマスエタノールのライフサイクルのイメージ



(注) ←…… のラインはライフサイクルの範囲に含まれない。

バイオエタノールのライフサイクルでは、原料段階はサトウキビの栽培になり、これをエタノール生産工場まで輸送する。工場ではサトウキビの圧搾、バガスの糖化、アルコール発酵、蒸留（脱水工程を含む）工程を経て貯蔵される。エタノール工場では砂糖を生産する場合があります、また発酵工程からの廃液（廃水）はメタン発酵処理される。このメタンは工場内のボイラー燃料として利用される。製品エタノール（無水）は油槽所に移送され、ガソリンに混合されてガソリンになる。これ以降はガソリンと同様の工程となる。

バイオマスエタノールのライフサイクル評価では、サトウキビ廃棄物であるバガスの糖化、発酵、蒸留工程におけるエネルギー消費量、環境負荷物質の排出量の評価が重要である。またメタン発酵工程から同時発生される CO₂ 量の評価も必要になる。消費工程における燃焼による CO₂ 排出の考え方も重要である。

ガソリン及び代替燃料、開発段階にある自動車のタイプ別のライフサイクル分析を実施している文献等はあるが、サトウキビからのエタノール及びガソリンを同時に比較検討している例は見当たらなかった。本調査では、原料段階から消費段階までの広い範囲での評価を実施し、

且つ詳細な根拠の情報が得られる例をベースに、ガソリンとバイオマスエタノールについて、総括的に評価を実施する。

2) ガソリン

(a) 生産工程の消費エネルギー

製油所における生産(精製)工程の消費エネルギー量については、国内石油会社が平成8年度に財団法人石油産業活性化センター(PEC)委託調査で実施している。製油所における消費エネルギー量については、装置構成、省エネルギー効果によって変わることになる。ベトナムにおいては大規模製油所がなく、製品のほとんどは海外製油所からの輸入となり、輸入先はシンガポール等であるが、ガソリン生産への装置構成の差は大きくないため、本調査ではベースラインの設定になるガソリンの消費エネルギーの算出については、PEC 委託調査の結果を採用することとする。

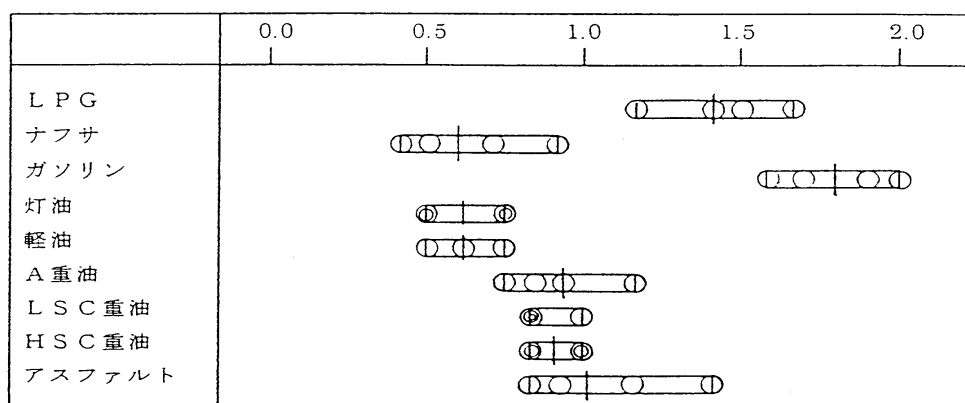
PEC 調査では、国内の4ヶ所の主要製油所をベースに試算している。石油製品は原油から同時に生産されるため、それぞれの製品毎の消費エネルギーを算出するには製品生産に關与する装置の構成と度合いを推定し、全製品平均値を製品毎に分割することになる。ガソリンについては、図6.1.1に示すように全製品平均の1.8倍相当になる。

(出典:「石油製品のライフサイクルインベントリーの作成に関する調査報告書」

平成9年3月 財団法人石油産業活性化センター)

調査結果による製油所(国内4製油所の平均:1996年当時)における全製品平均値は50.3 l-FOE/kl であることから、ガソリン生産に伴う消費エネルギー量は90.5 l-FOE/kl (全石油製品の1.8倍相当)となる。

図6.1.1 石油製品別の精製に関わる消費エネルギー



(注)4製油所の全石油製品平均値(50.3l-FOE/kl)を基準とする相対値で示す
 は4製油所における算出値、 | は製品別の平均値を示す

(b)生産工程のCO2 負荷量

CO2 負荷量の算出についても上記 PEC 委託調査の結果を引用すると、主要 4 製油所の合計の CO2 発生量及び消費エネルギー量から算出された 0.612kg-c/l-F0E から、CO2 発生量と消費エネルギーの換算は 2.244kg-CO2/l-F0E ($0.612 \times 44/12=2.244$) となり、国内 4 製油所における全製品平均の CO2 負荷量は $50.3 \text{ l-F0E/kl} \times 2.244\text{kg-CO2/l-F0E} = 112.9\text{kg-CO2/kl}$ 製品となる。ガソリンの生産に伴う CO2 負荷量は全製品平均の 1.8 倍相当とし、 $112.9\text{kg-CO2/kl} \times 1.8 = 203.3\text{kg-CO2/kl}$ ガソリンの値を得た。これはスウェーデンの Statoil 社の算出した 200kg-CO2 とほぼ同じ結果となった。

生産工程は装置構成によってエネルギー消費量も変わり、CO2 排出量も変わるはずであるが、この結果からは 2 次装置構成の影響は小さいと言えることになる。

(出典 : Edgar Furubolt (Statoil Research Centre) "Life cycle assessment of gasoline and diesel" Resources, Conservation and Recycling 14, 251-263 (1995))

一方、代替輸送用燃料を含めたライフサイクル調査については、英国 ETSU (Energy Technology Support Unit) が政府関係機関 (Depart. of Trade and Industry, 及び Depart. of Transport) と共同で実施した報告書がある。この中では石油、ガスの生産過程から、精製工程、燃料についてはガソリン、軽油、LPG、NG、バイオエタノール、バイオ軽油等を取り上げて、自動車の走行 km ベースで CO2 負荷量を算出している。

ETSU ではガソリンの生産過程の負荷量算出には、原油生産・輸送・精製・移送の各段階を合計している。表 6.1.1 にはガソリン及び軽油の燃費及び走行距離当りの CO2 排出量を示す。ガソリンの生産過程合計の CO2 負荷量は 49g/km (表 6.1.1 Table3.9 の走行距離当りの CO2 排出量 309g/km 及び Table3.10 の総 CO2 排出量 358g/km より算出) であり、燃費 7.35km/l (表 6.1.1 の Table3.9 より $100/13.6=7.35$) を考慮するとガソリン kl 当りでは $49\text{g/km} \times 7.35\text{km/l} \times 1,000 = 360\text{kg-CO2/kl}$ ガソリンとなる。この内精製段階は、表 6.1.2 に示すように、59% (表 6.1.2 より $6.1/10.3=0.56$) を占めるので、これをベースとして精製段階のみの負荷量を算出すると $360\text{kg-CO2/kl} \times 59\% = 212\text{kg-CO2/kl}$ ガソリンとなり、前 2 ケースとほぼ同様の値となる。

(出典 : "Alternative Road Transport Fuels - A Preliminary Life-cycle Study For the UK" ETSU (Energy Technology Support Unit), March 1996)

以上の考察から、ガソリン生産過程 (原油生産・輸送・精製・移送の各段階を合計) の CO2 負荷量は 360kg-CO2/kl ガソリンとする。

表 6.1.1 ガソリンの燃費及び走行距離当りの CO2 排出量

Table 3.9 Petrol and diesel vehicle emissions factors

		Fuel l/100km	Fuel MJ/km	CO ₂ g/km	CO g/km	*HC g/km	NO _x g/km	⁵ SO ₂ g/km	PM g/km
Petrol	Car ¹	7.9	2.7	181	2.07	0.14	0.21	0.02	0.01
Diesel	Car ²	5.3	2.1	139	0.42	0.08	0.64	0.05	0.15
Petrol	LGV ³	13.6	4.8	309	6.62	0.35	0.28	0.04	0.02
Diesel	LGV	10.3	4.0	267	1.33	0.33	1.39	0.09	0.24
Diesel	HGV	32.8	12.7	853	3.92	0.45	13.06	0.28	1.07
Diesel	Old bus	44.3	17.2	1119	16.04	5.03	15.86	0.38	1.55
Diesel	New Bus	34.1	13.2	885	4.26	0.44	14.09	0.29	1.06

¹ Medium size petrol car with three way catalyst

² Medium size diesel car

³ Petrol LGV with three way catalyst

⁴ HC emissions include methane

⁵ SO₂ emissions assume complete oxidation of fuel sulphur

Table 3.10 Life-cycle energy use and emissions for petrol and diesel

		Energy MJ/km	CO ₂ g/km	CO g/km	HC g/km	NO _x g/km	SO ₂ g/km	PM g/km
Petrol	Car	3.2	210	2.1	0.8	0.3	0.2	0.0
Diesel	Car	2.3	154	0.4	0.3	0.7	0.1	0.2
Petrol	LGV	5.6	358	6.7	1.4	0.5	0.4	0.0
Diesel	LGV	4.5	295	1.4	0.7	1.5	0.3	0.2
Diesel	HGV	14.3	942	4.0	1.8	13.5	0.9	1.1
Diesel	Old bus	19.3	1238	16.1	6.9	16.5	1.2	1.6
Diesel	New Bus	14.8	977	4.3	1.8	14.5	0.9	1.1

(出典 : ETSU)

表 6.1.2 ガソリン生産過程における CO2 発生量の各工程別の内訳

Table 3.7 Overall energy/emissions – petrol

	Energy MJ/GJ	CO ₂ kg/GJ	CO g/GJ	NO _x g/GJ	HC g/GJ	SO ₂ g/GJ	CH ₄ g/GJ	PM g/GJ
Extraction	62.4	3.4	1.5	9.5	10.9	0.0	14.7	0.0
Transport	8.2	0.6	1.7	16.0	25.8	11.2	0.3	0.0
Refining	96.3	6.1	1.4	13.4	67.7	57.0	0.2	0.0
Distribution	2.0	0.2	0.4	1.6	107.5	1.1	0.4	0.1
Overall	168.8	10.3	5.0	40.5	211.8	69.3	15.6	0.1

(出典：ETSU)

(c) 燃焼による CO2 排出量

ガソリンの燃焼過程の CO2 排出量は自動車进行を想定する。ETSU では自動車は軽量貨物車両 (3 元触媒装着 LGV: 重量 3.5t 以下) をベースに各燃料間の負荷量の差を比較している。ガソリンについては、自動車による CO2 の排出は 309g/km である (表 6.1.1 を参照)。燃費を 7.35km/l としており、kl 当りでは $309 \times 7.35 = 2,271$ kg-CO₂/kl ガソリンとなる。エンジン容量 1,400 - 2,000 l の乗用車 (表中の「Car」に相当) の場合には 2,291kg-CO₂/kl ガソリンである。なお、PEC 調査のガソリンの直接燃焼による CO2 排出量は 2,358 kg-CO₂/kl ガソリンとなる。 (0.6433 kg-C/l $\times 3.67 \times 1,000 = 2,358$ kg-CO₂/kl ガソリン)

以上の結果から、ガソリン燃焼過程の CO2 負荷量は PEC 調査の 2,360kg-CO₂/kl ガソリンとする。

3) エタノール

(a) 生産過程における CO2 負荷量

バイオマスエタノールの自動車用燃料としての主な工程は以下ようになる。

農業生産：サトウキビ、小麦、他

輸送：サトウキビの輸送

生産：エタノール生産

移送・貯蔵：供給所まで

消費：自動車の利用

ETSU の報告では各工程について CO2 負荷量を算出している。生産工程については、スチーム

発生の燃料に天然ガスを使用するケースと麦わらを使用する場合があるが、天然ガス使用ケースをベースケースとしている。(表 6.1.3 参照)

表 6.1.3 バイオマスエタノールの生産過程における CO2 発生量

単位：CO2-kg/GJ エタノール

	天然ガスケース	麦わらケース
農業	6.1	6.1
生産	37.2 (82.9%)	12.9 (動物用飼料の分は削除 4.7)
輸送・移送等	1.9	1.9
合計	44.9 (100%)	20.6

出典：ETSU 資料より作表した。

天然ガスベースでは、CO2 排出量は消費過程（燃焼過程）を除いた場合の生産工程の比率は 83%を占める。

軽量貨物車両(LGV)をベースとしたバイオマスエタノールの走行距離当りの総 CO2 排出量については 181 CO2-g/km であり(表 6.1.4 参照)、これには燃焼分を含まないことから、そのまま生産過程分のみになる(ガソリンは生産過程で 49 CO2-g/km、燃焼過程で 309 CO2-g/km を算出している)。エタノールの燃費 6.2km/l (7.35km/l × 0.85) とすれば、1,122kg-CO2/kl エタノール (181 × 6.2=1,122) となる。なお、生産段階のみの CO2 負荷量は 83%を占めることから、930kg-CO2/kl エタノールとなる。

表 6.1.4 バイオマスエタノールの走行距離当りの総 CO2 排出量

Table 8.10 Bioethanol life-cycle energy use and emissions

		Energy MJ/km	CO ₂ g/km	CO g/km	HC g/km	NO _x g/km	SO ₂ g/km	PM g/km
E85	Car	2.3	105	0.9	0.8	0.5	0.3	0.0
E85	LGV	4.0	181	2.8	1.5	0.8	0.6	0.0
E95	HGV	12.5	572	4.7	4.2	13.9	1.9	0.4
E95	Old bus	16.8	771	17.9	12.1	17.1	2.5	0.6
E95	New bus	13.0	593	5.1	4.3	14.9	2.0	0.4

(出典：ETSU)

ETSU では、ガソリン、軽油、LPG、CNG (圧縮天然ガス)、電気、メタノール、バイオエタノール、バイオ軽油について、夫々の生産過程及び自動車での CO2 負荷量を、自動車の走行 km

ベースで算出しており、その結果を図 6.1.2 に示す。

図 6.1.2 ガソリン及びバイオエタノールの走行距離当りの CO2 排出量

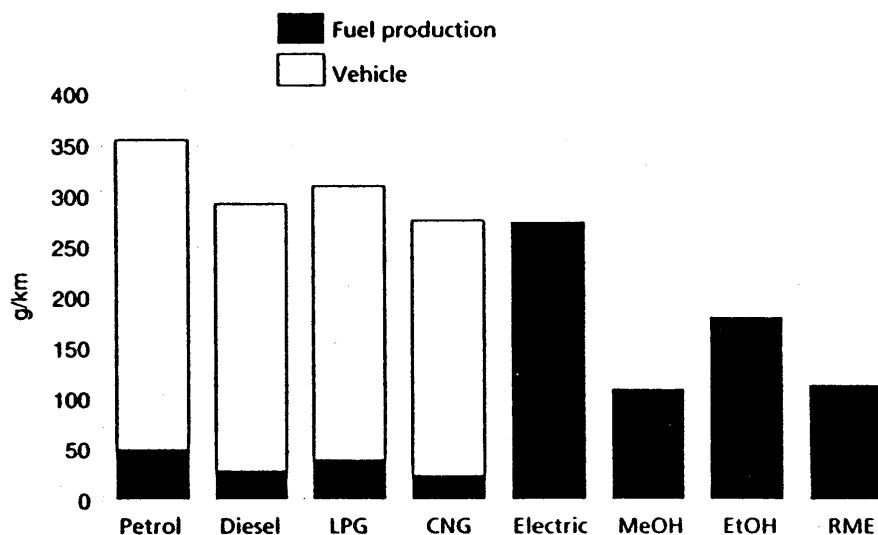


Figure 11 Life-cycle CO₂ emissions - LGV

(出典：ETSU)

以上の結果から、エタノール生産過程の CO2 負荷量は 1,120kg-CO₂/kl エタノールとする。

(a) エタノール燃焼過程の CO2 排出量

ETSU 報告では、バイオマス燃料についてはバイオマス生産過程では CO₂ を吸収することから燃焼過程は中立 (neutral : 無視できる) であるとしており、IPCC の定義でも考慮していない。

3) ガソリンとエタノールの CO2 負荷量比較

ガソリン及びエタノールの CO₂ 負荷量の結果を纏めると、以下のようになる。

単位 : kg-CO₂/kl

	生産	燃焼	合計
ガソリン	360	2,360	2,720
エタノール	1,120	-	1,120

以上の結果からは、ガソリンからバイオマスエタノールに転換した場合の CO2 削減効果は 41%となる。

$$\text{エタノール：ガソリン} = 1120 : 2720 = 0.41$$

その結果、ガソホール（エタノール 20wt%（19vol%）含有相当）の CO2 発生量は

$$1,120 \times 0.19 + 2,720 \times 0.81 = 2,416 \text{ kg CO}_2/\text{kl}$$

となり、ガソホールの CO2 排出量は、ガソリンの 89%に相当する。

$$2,416 \text{ kg CO}_2/\text{kl} / 2,720 \text{ kg CO}_2 = 0.89$$

なお、ETSU の結果の km 当りでは 51%である。（181/358=0.51）

この様に原料成長の間の CO2 吸収により、エタノール燃焼の CO2 は相殺（オフセット）されるが、エタノールの生産過程においてはスチームや電気のような化石燃料からの追加的なエネルギー資源を使用することを考慮しなければならないので、従来のガソリンとエネルギーベースで比較すると、エタノールの生産と消費のライフサイクル CO2 排出量は約 40～60%になるという Marlo Reynolds による報告がある。

（出典：Encompass Magazine, October 1988 vol3 number 1）

また今回の評価でのエタノールとガソリンと生産段階における CO2 排出量の差は、 $1120/360 = 3.1$ 倍となる。ETSU の結果では、 3.7 倍となる。（ $181/49=3.7$ ）

（2）算定基礎となるベースライン

1）効果ガス削減量のベースラインの設定

（a）ベースラインの設定考え方

ガソリン需要量については「5.1(2)技術分野」の項で算出したように、ガソリン需要の伸びについては 1999/1997 年で 5.7%/年であるが、ペトロベトナム石油公社では 2005 年までの伸びを 8.0%/年としている。1999 年の 186 万トン/年（43,800b/d）をベースに 8.0%/年の伸びとし、2005 年には 295 万トン/年（404 万 kl/年、69,600b/d）とする。

2）ベースラインの計算結果

6.1(1)の技術的根拠の項にて、算出したガソリンの使用による CO2 排出量は 2,720 kg-CO2/kl であり、ガソリン需要量の推移により、2001 年から 2005 年までのベースラインを算出する。

その結果を表 6.1.5 に示す。

表 6.1.5 ベースラインの CO2 発生量 単位：10³トン CO2/年

	2001	2002	2003	2004	2005
ガソリン CO2 年別	8,070	8,715	9,412	10,164	10,992
累計	8,070	16,785	26,197	36,361	47,353

(計算 例)

ガソリンの CO2 発生量=360+2,360=2,720 kg-CO2/kl ガソリン

2005 年の年間発生量=(360+2,360) × 2,950,000/0.73/1,000 = 10,992 × 10³ トン CO2/年

(3) 温室効果ガス排出削減量

1) ガソホールの CO2 排出量

化石燃料であるガソリンに対して、再生可能エネルギーであるバイオマスからのサトウキビを原料とするエタノールを含むガソホール (20%エタノール含有) は CO2 削減効果が期待できる。

ガソホールの CO2 排出量は、エタノール 20wt% ((19vol%) 含有相当) を含有することから、下に示すように、2,416 kg CO2/kl となり、これはガソリンの 88%に相当する。

(ガソホール (エタノール 20wt%) の計算根拠)

エタノール比重 : 0.79

ガソリン比重 : 0.73

エタノール 1kl とした場合のガソリン混合量 A kl

$1 \times 0.79 / (1 \times 0.79 + A \times 0.73) = 0.20 \quad A = 4.33$

ガソホールのエタノール容量%は 19%となる。($1 / (1 + 4.33) = 0.188$)

エタノール生産における CO2 発生量 1,120 kgCO2/kl エタノール

$1,120 \times 0.19 + 2,720 \times 0.81 = 2,416 \text{ kg CO2/kl ガソホール}$

2) C02 年間削減量計算結果

5.1 (3) 実施スケジュールの項で算出した、ガソリン及びガソホルの供給量を表 6.1.6 に示す。

表 6.1.5 ガソリンとガソホル供給バランス 単位：1,000t/y

	2001	2002	2003	2004	2005	備考
(ケース 1) ガソリン	2,166	2,339	1,863	2,065	1,455	
ガソホル			663	663	1,495	イタノール 20wt%含有
(ケース 2) ガソリン	2,166	2,339	1,768	1,970	1,434	
ガソホル			758	758	1,516	イタノール 20wt%含有
合計	2,166	2,339	2,526	2,728	2,950	需要 8.0%/年

表 6.1.6 のガソリンとガソホル供給バランスをベースとして C02 年間削減量を算出し、この計算結果を表 6.1.7 に示す。ケース 1 は砂糖とエタノールを併産する場合であり、ケース 2 はエタノールのみを生産する場合である。

表 6.1.7 C02 排出削減量

単位：千トン C02/年

	2001	2002	2003	2004	2005
ベースライン 発生量	8,070	8,715	9,412	10,164	10,992
ケース 1 発生量	8,070	8,715	9,106	9,859	10,302
削減量	-	-	306	306	690
削減量累計	-	-	306	602	1,302
ケース 2 発生量	8,070	8,715	9,062	9,815	10,292
削減量	-	-	350	350	700
削減量累計	-	-	350	700	1,400

各年におけるプロジェクトのCO2年間発生量の計算式

ケース1 (砂糖+エタノール)

2001年		$2,720 \times 2,166,000 / 0.73 / 1,000$	= 8,070,000 トン/年
2002		$2,339,000 / 0.73 / 1,000$	= 8,715,000
2003		$(2,416 \times 663,000 / 0.74 + 2,720 \times 1,863,000 / 0.73) / 1,000$	= 9,106,000
2004	$\times 663,000$	$\times 2,065,000$	= 9,859,000
2005	$\times 1,495,000$	$\times 1,455,000$	= 10,302,000

ケース2 (エタノールのみ)

2001年		$2,720 \times 2,166,000 / 0.73 / 1,000$	= 8,070,000 トン/年
2002		$2,339,000 / 0.73 / 1,000$	= 8,715,000
2003		$(2,416 \times 758,000 / 0.74 + 2,720 \times 1,768,000 / 0.73) / 1,000$	= 9,062,000
2004	$\times 758,000$	$\times 1,970,000$	= 9,815,000
2005	$\times 1,516,000$	$\times 1,434,000$	= 10,292,000

CO2 はベースラインに対し、2005 年で 6.3% 程度の削減（削減量は 690-700 千トン/年）が期待される。

本プロジェクトは、2005 年以降もガソールの供給分は CO2 排出量の削減効果は継続されるが、ガソリン需要量が更に増加することを想定すれば、供給比率は下がるが削減量は変わらないことになる。

6.2 費用対効果

(1) 建設費

ベトナムの建設費については現地調査の結果、サトウキビ原料処理設計能力 2,500t/日で砂糖 60,000t/年及びエタノール 25,000kl/年を生産しているタイ・ニン省第2ピン・ホア工場では、30億ドルとのことである(1995年完成)。また2001年末運転開始のメコンデルタのチャ・ビン省チャ・クー郡のテア・ビン工場は2,500t/日能力の砂糖工場で14億ドルという情報がある。

(Vietnam Economic Information Network, Tuesday Jan.16, 2001)

1工場当りの建設費は、第2ピン・ホア工場の30億ドルというデータからスケールファクターを考慮して算出する。砂糖及びエタノールを生産する場合の1工場当りのサトウキビ処理能力は6,700t/日であり、スケールファクターの0.7乗則により、 $(6,700/2,500)0.7 \times 30 = 59.8$ 百万ドルとなる。

これにセルラーセ生産・糖化工程分として12百万ドル(全体の20%分の増加とする)が追加されるとし、72百万ドルとなる。

砂糖からエタノールを生産する工程は、砂糖併産するケースでは、圧搾工程、砂糖生産工程及びエタノール生産工程となり、その内砂糖生産工程の建設費分が大きい。

砂糖を生産しないケースでは、圧搾工程分は砂糖併産するケースと同じ処理能力である。エタノール生産量は96,000kl/年であり、砂糖を併産するケースのエタノール生産量42,000kl/年との差を考慮して65百万ドルとする。

(2) 運転コスト

1) 固定費

年間固定費の算出に当たっては、本調査では国内の場合の算出方法をベースとする。

減価償却費 総建設費(TIC) $\times 0.9 \times 1/8$

設備は全てオンサイト設備相当とし、償却は8年とする。

設備金利 TIC $\times 0.55 \times 0.08$

固定資産税 TIC $\times 0.014 \times 0.55$

保険料 TIC $\times 0.003 \times 0.55$

補修費 TIC $\times 0.03$

工場管理費 TIC $\times 0.02$

合計 TIC $\times 0.1718$

以上により、年間固定費分は総建設費の0.172倍とする。

砂糖併産ケース

72百万ドル×110円/ドル×0.172=1,362百万円

エタノール生産のみのケース

65百万ドル×110円/ドル×0.172=1,230百万円

2) 原料の価格

(a) サトウキビ価格

サトウキビ価格については、現地の情報として200,000VND/トン(1,500円/トン)のデータがある。ただし、過去の価格としては、1996年の80,000VND/トンから1997年に300,000VND/トンに上昇したという情報もありかなり変動幅が大きい。今回は1,500円/トンを使用する。

砂糖併産ケース、エタノール生産のみのケースともサトウキビの使用量は同じであるので
 $1,200,000 \text{ トン/年} \times 1,500 \text{ 円/トン} = 1,800 \text{ 百万円/年}$
となる。

3) 用役費及び副原料費

新燃料油開発技術研究組合(以下、研究組合という)のケースでは、糖化工程は酵素法であり、用役費及び副原料費の詳細データがあるので、原単位についてはこれを使用する。なお、単価については現状のベースに見直し、ベトナムの現地価格を考慮した。表6.2.1に示すように、糖化工程の用役費及び副原料費は13.1円/lとする。

砂糖併産ケースについては、サトウキビからの圧搾工程及び砂糖生産工程とエタノール生産工程になる。サトウキビからの圧搾工程は主として動力用電気であり、サトウキビ処理量当り60円/トンとし、砂糖の結晶化、遠心分離工程の用役、副原料費は200円/トンとする。

サトウキビ処理量は1,200,000t/年であり、

圧搾工程 $60 \text{ 円/t} \times 1,200,000 = 72 \text{ 百万円/年}$

砂糖生産工程 $200 \text{ 円/t} \times 1,200,000 = 240 \text{ 百万円/年}$

エタノール生産量は42,000kl/年であり、

エタノール生産工程 $13,100 \text{ 円/kl} \times 42,000 = 550 \text{ 百万円/年}$

合計、862百万円/年となる。

エタノールのみ生産ケースについては、サトウキビの圧搾工程とエタノール生産工程になり、サトウキビ処理量は1,200,000t/年であるので

圧搾工程 60 円/t × 1,200,000= 72 百万円/年

エタノール生産量は96,000kl/年であるので、

エタノール生産工程 13,100 円/kl × 96,000=1,258 百万円/年

合計、1,330 百万円/年となる。

表 6.2.1 エタノール生産の副原料及び用役費

項目	原単位	単価	単位原価	備考
副原料				
苛性ソーダ	0.07t/kl	40 千円/t	2.8	硫酸、生石灰等
糖化・発酵	1.02t/kl	2 千円/t	2.0	
その他			0.7	
用役費				
用水	56t/kl	2 円/t	0.1	
ボイラー用水	3.4t/kl	40 円/t	0.1	
電気	832kwh/kl	6 円/kwh	5.0	
バガス	1.68t/kl	1.4 千円/t	2.4	
合計			13.1	

(出典：原単位は新燃料油開発技術研究組合のデータ)

4) 労務費の算出

ブラジルのサトウキビ栽培及びエタノール工場の必要労働力として、百万ヘクタール当たり夫々1,660 人、600 人程度という例が紹介されている。

(出典：UNDP:SEED(Sustainable Energy and Environment Division)

Energy as an Instrument for Socio-Economic Development 1995)

これを例として推定すると、1,200,000 トン/年の処理ケースではサトウキビ栽培従事者は1,900 人、エタノール工場従業員は700 人となる。タイ・ニン工場の従業員数は3,500t/日能力で500 名であることを考慮して、以下のとおりとする。

圧搾工程 50 人

砂糖工程 50 人

エタノール製造工程・他 600 人 (管理・保全・試験等を含む)

これをベースとすれば、砂糖併産ケースでは50+50+600=700 人、エタノールだけのケースでは50+600=650 人となる。

労務費単価については、統計資料により最低賃金として外資系企業の管理職の場合で 2,600 ドル/年程度となっており、工場平均賃金は平均 30 万円/年とする。

砂糖併産ケース： 700 人 × 300,000 円/年= 210 百万円/年

エタノールのみ生産ケース： 650 人 × 300,000 円/年= 195 百万円/年

(3) 1工場当りの年間経費

以上の算出データをベースにして、ケース別の 1 工場当りの年間経費を算出し、表 6.2.2 に示す。この調査の結果では、年間経費の中で、原料費の占める割合は 40～43%を占めることになる。

表 6.2.2. 1 工場当りの年間経費

	ケース 1 砂糖併産	ケース 2 エタノールのみ生産
総建設費 (百万ドル)	72	65
エタノール生産量(kl/年)	42,000	96,000
工場従業員数(人)	700	650
	(百万円/年)	(百万円/年)
固定費	1,362	1,230
用役費・副原料費	862	1,330
原料費	1,800	1,800
労務費	210	195
合計	4,234	4,555
砂糖の外販収入	2,880	-
エタノールの外販収入	1,260	2,880
砂糖外販収入控除後の合計	94	1,675

砂糖を併産するケースでは、粗砂糖の国際市場価格については後述するように、市場に出回る量に応じて大きな変動があるものの 20,000 円/t 程度とすると、その価格による収入は 144,000 t/年 × 20,000 円/t=2,880 百万円/年となる。

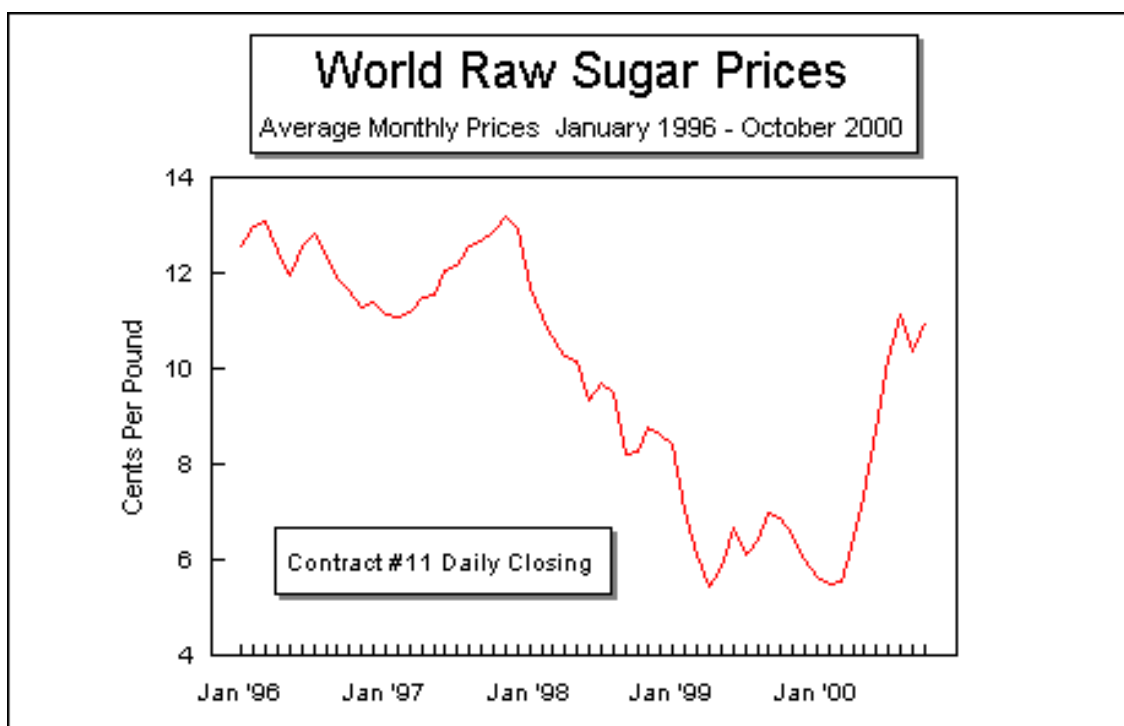
また、エタノールの外販収入については、国際市場価格として 30,000 円/kl とすれば、ケース 1 では 42,000kl/年 × 30,000 円/kl = 1,260 百万円/年、ケース 2 では 96,000kl/年 × 30,000 円/kl = 2,880 百万円/年の控除が発生する。

なお、本プロジェクトでは既存のガソリン貯蔵所 (デポ) におけるガソリンへのエタノール調合設備を増設することになるが、大きなコスト負担にはならないとし、工場建設費のみを総費用とする。

1) 砂糖の国際価格

砂糖の国際市場について、米国農務省(USDA)が発表している FAS (海外農業情報) によるデータでは、世界中の砂糖の生産及び需要はほぼ年間 130 百万トンであり、その内 35 百万トンが国際市場で取引されている。ただし国際価格の変動は大きく、粗砂糖の 1996 年以降の結果を見ると、図 6.2.1 に示すように月平均ベースで 100 ~ 300 ドル/トンまで変化している。変動幅のみを比較すると原油価格の変動幅にも匹敵する。2000 年度のみで見ると、10 月までの平均は 166 ドル/トンであるが、7 月以降 4 ヶ月の平均では 234 ドル/トンになる。

図 6.2.1 粗砂糖の国際価格



(注) 1 セント/ポンド = 22 ドル/トン

主要国の砂糖の生産及び輸出については表 6.2.3 に示すように、1999 年でブラジルは 20 百万トン生産し、内 11 百万トンを輸出している。1998 年では生産が 18 百万トンで輸出が 8 百万トンであり、1999 年では 2.5 百万トンも輸出が増えており、1997 年からの比較では 4 百万トンの増加になる。

アジアではインドの 20 百万トンの生産が最大であるが、その多くは国内で消費されている。中国も約 8 百万トンの生産があるが輸出は少ない。タイはアジアで 3 番目に大きな生産量があり、6 百万トン弱を生産しているが、その 60 - 70% を輸出している。タイでもブラジルと同様に、1997 年比でみると 1.3 百万トンの輸出増加である。このように見ると、1998 年からの国際

価格の下落は主要輸出国からの輸出量の増大によるものであることが分かる。

表 6.2.3 主要国の粗砂糖の生産量と輸出量

WORLD PRODUCTION, SUPPLY, AND DISTRIBUTION CENTRIFUGAL SUGAR							
Country	Beginning Stocks	Production	Imports	Total Supply	Exports	Domestic Consumption	Ending Stocks
---1,000 Metric Tons, Raw Value---							
Vietnam							
1994/1995	77	450	160	687	0	620	67
1995/1996	67	535	140	742	0	660	82
1996/1997	82	550	130	762	0	680	82
1997/1998	82	600	100	782	0	695	87
1998/1999	87	655	55	797	0	710	87
1999/2000	87	725	100	912	10	750	152
2000/2001	152	700	65	917	75	770	72
Thailand							
1994/1995	367	5,448	0	5,815	3,809	1,500	506
1995/1996	506	6,223	0	6,729	4,537	1,560	632
1996/1997	632	6,013	0	6,645	4,194	1,651	800
1997/1998	800	4,245	0	5,045	2,839	1,756	450
1998/1999	450	5,386	0	5,836	3,352	1,825	659
1999/2000	659	5,721	0	6,380	4,100	1,850	430
2000/2001	430	5,600	0	6,030	3,800	1,850	380
China, Peoples Republic of							
1994/1995	1,168	6,299	4,110	11,577	414	7,948	3,215
1995/1996	3,215	6,686	1,775	11,676	952	8,040	2,684
1996/1997	2,684	7,789	1,014	11,487	435	8,268	2,784
1997/1998	2,784	8,631	420	11,835	308	9,012	2,515
1998/1999	2,515	8,969	517	12,001	453	9,000	2,548
1999/2000	2,548	7,203	555	10,306	205	9,000	1,101
2000/2001	1,101	8,079	1,000	10,180	255	9,150	775
India							
1994/1995	2,776	16,410	685	19,871	40	13,841	5,990
1995/1996	5,990	18,225	0	24,215	940	14,820	8,455
1996/1997	8,455	14,616	27	23,098	422	15,697	6,979
1997/1998	6,979	14,592	1,000	22,571	21	16,700	5,850
1998/1999	5,850	17,436	1,075	24,361	10	16,977	7,374
1999/2000	7,374	20,112	380	27,866	10	17,180	10,676
2000/2001	10,676	17,803	0	28,479	500	17,870	10,109
Brazil							
1994/1995	455	12,500	55	13,010	4,300	8,000	710
1995/1996	710	13,700	0	14,410	5,800	8,100	510
1996/1997	510	14,650	0	15,160	5,800	8,500	860
1997/1998	860	15,700	0	16,560	7,200	8,800	560
1998/1999	560	18,300	0	18,860	8,750	9,100	1,010
1999/2000	1,010	20,100	0	21,110	11,300	9,100	710
2000/2001	710	15,400	0	16,110	6,200	9,250	660

(出典) 米国農務省、FAS(海外農業情報)より作成

(4) プロジェクトの年間経費

表 6.2.2 に示す 1 工場当りの年間経費をベースに、プロジェクトの実施スケジュールに伴う第 1 期分、第 2 期分のプロジェクトの年間経費を表 6.2.4 に示す。

なお、プロジェクトの年間経費の算出ベースは、粗砂糖及びエタノールの外販による収入を控除した後の経費とする。

表 6.2.4 プロジェクト年間経費

	ケース 1 砂糖併産		ケース 2 エタノールのみ生産	
	第 1 期	第 2 期	第 1 期	第 2 期
工場数	4	9	2	4
総建設費 (百万ドル)	288	648	130	260
砂糖生産量 (トン/年)	576,000	1,296,000	-	-
エタノール生産量 (kl/年)	168,000	378,000	192,000	384,000
工場従業員数 (人)	2,800	6,300	1,300	2,600
年間経費 (億円/年)				
固定費	54	123	25	49
用役費・副原料費	34	78	27	53
原料費	72	162	36	72
労務費	8	19	4	8
砂糖の外販収入	-115	-259	-	-
エタノールの外販収入	-50	-113	-58	-115
合計	4	8	33	67

(5) 費用対効果

CO2 排出削減量については、6.1 (3)の項にて算出しており、前項のプロジェクト年間経費をベースとして、各ケースの年別及び費用対効果の累計を算出し、表 6.2.5 に示す。

表 6.2.5 年別及びプロジェクト累計の費用対効果

単位: 千トン-CO2/年、億円/年、千円/トン-CO2

		2001	2002	2003	2004	2005
ベースライン	CO2 発生量	8,070	8,715	9,412	10,164	10,992
ケース 1	CO2 削減量			306	306	690
	年間経費			4	4	8
	費用対効果			1.2	1.2	1.2
	CO2 削減量累計			306	612	1,302
	年間経費累計			4	8	16
	費用対効果累計			1.2	1.2	1.2
ケース 2	CO2 削減量			350	350	700
	年間経費			33	33	67
	費用対効果			9.5	9.5	9.5
	CO2 削減量累計			350	700	1,400
	年間経費累計			33	67	133
	費用対効果累計			9.5	9.5	9.5

(算出方法) 年別の費用対効果 = 年間経費/削減量

プロジェクト累計の費用対効果 = 年間経費累計/削減量累計

砂糖を併産するケース 1 では、粗砂糖及びエタノールの外販収入を控除した後とするベースで、CO2 削減の費用はプロジェクト完成後の 2005 年以降は 1,200 円/トン-CO2 になり、またエタノールのみを生産するケース 2 では 9,500 円/トン-CO2 程度となる。

6.3 温室効果ガス以外に生じうる影響

(1) 環境面

1) 鉛化合物の削減効果

ガソリンのオクタン価については各国の品質規格があり、統一されていない。自動車の高速化に合わせてオクタン価の要求値が上がり、ガソリン基材の高オクタン価に合わせて、オクタン価向上剤の添加が必要とされ、鉛化合物（四エチル鉛）が添加されるのが世界的に広がった。しかし、鉛の大気中への排出問題から、日本を始め先進国から順次使用を禁止している。ベトナムにおいては、表 6.3.1 に示すように、現状でもオクタン価向上剤を添加している。（出典：Vietnam Standard TCVN 5690-92）

製品別に添加量は異なるが、RON92 と RON97 の添加量は同量としている。これは、RON97 はガソリン基材の選択により、オクタン価の高い基材を使用して鉛添加量を増やさないことで対応している。

表 6.3.1 ガソリン中への鉛化合物の添加量

製品	オクタン価 RON	鉛添加量 g/l
RON83	83	0.15
RON92	92	0.40
RON97	97	0.40

(注) RON97 のシェア-は小さい

エタノールのオクタン価は一般的なガソリン基材に比べて高く、RON(リサーチ法オクタン価)は 106、MON は 89(モーター法オクタン価)であり、エタノールを混合することにより、オクタン価向上剤の添加量の削減が可能である。

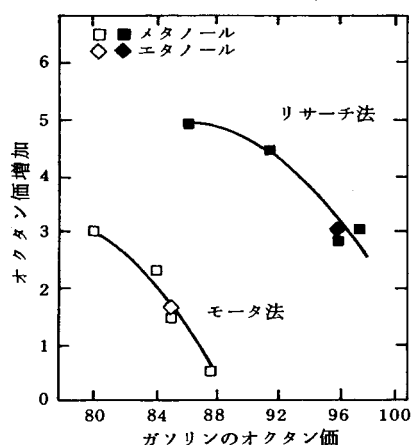
エタノールのガソリンへの混合の前提として、供給コスト及び安定性の課題がある。バイオマスエタノールの生産コストが原油代を含めたガソリン生産コストと同一価格以下であることと、多量生産体制の整備が必要となる。これらの条件を満たすには、政策支援、価格安定策等のプログラムの中での実施となり、政策決定による推進体制がないと進められない。

一方、オクタン価向上剤としての鉛化合物の添加については、エンジン内の吸気・排気口のバルブのシート面を保護する役割があり、エンジンサイドの対応が実施されていない車には悪影響があるということから、鉛化合物の添加を全てのガソリンから直ちに止めることは出来ない、と言われている。

鉛化合物添加を廃止する動きについて、日本では1975年からのレギュラーガソリンの無鉛化に始まり、1983年のプレミアムガソリンの無鉛化で完了している。東南アジア、中東諸国では現在完了しているところ、進行中という状態であり、ベトナムにおける鉛添加の廃止が発表されたところである。この動きに合わせて、本プロジェクトによる鉛添加量の削減が実施されれば、付加的な効果と言える。

鉛の加鉛効果は0.15 g / lの添加で、RONが5程度上昇し、0.40 g / lでは10程度の上昇が期待できる。一方、エタノールによるオクタン価向上効果については、図6.3.1に示すように、ガソリンのオクタン価が低い場合には向上効果が大きい。

図6.3.1 ガソリンのアルコール10%混合によるオクタン価向上効果



(出典：「バイオマスによる燃料・化学原料の開発技術資料集成」フジ・テクノシステム 1981年)

エタノールによるオクタン価(リサーチ法:RON)向上効果について、概略の範囲で加成性があるとすれば、ガソリン基材のオクタン価を78とすると、エタノール20%の混合による効果としては、

$$78 \times 0.8 + 106 \times 0.2 = 83.6$$

となり、RONは概算値として5.6向上して83以上となる。詳細の検討はガソリン基材と合わせて行うことになるが、エタノール20%混合により、鉛化合物0.15 g / lのオクタン価向上効果5程度に見合う削減効果が期待できることになる。

ベトナムにおけるRON83のシェアは現在60%あることから、その50%をエタノール20%混合のガソ-ホールに置き換えることにより、0.15 g / lの鉛化合物を削減できることになり、「5.1(3)実施スケジュール」の項で算出した各年のガソリン需要量を表6.3.2に示し、プロジェクトの導入による各年の削減効果を表6.3.3に示す。なお、RON92の添加量の0.40g/lは変

わらないと仮定し、削減量では考慮しないこととする。

表 6.3.2 プロジェクト実施後のガソリンとガソホール供給バランス

	2001	2002	2003	2004	2005	備考
ケース 1						
ガソリン (1,000t/y)	2,166	2,339	1,863	2,065	1,455	
(1,000kl/y)	2,967	3,204	2,552	2,829	1,993	比重 0.73
ケース 2						
ガソリン (1,000t/y)	2,166	2,339	1,768	1,970	1,434	
(1,000kl/y)	2,967	3,204	2,422	2,699	1,964	比重 0.73
合計 (1,000t/y)	2,166	2,339	2,526	2,728	2,950	8.0%/年
(1,000kl/y)	2,967	3,204	3,460	3,737	4,041	比重 0.73

(注) 合計量は各ケースのガソリンとガソホールの合計である。ガソホール供給量は表示していない。

表 6.3.3 ガソリン中の鉛削減量

単位: トン/年

	2001	2002	2003	2004	2005
ベースライン					
添加量	455	480	519	561	606
ケース 1					
添加量	455	480	382	424	299
削減量	-	-	137	137	307
削減量累計	-	-	137	274	581
ケース 2					
添加量	455	480	363	405	295
削減量	-	-	156	156	311
削減量累計	-	-	156	312	623

(注)・ベースラインは表 6.3.2 の合計量及び鉛添加量 0.15 g / l から算出している。

・添加量はガソリン供給量及び鉛添加量 0.15 g / l から算出している。

・削減量はベースラインから添加量を差し引いたものである。

2) 排気ガス性状の改善

エタノールは含酸素燃料であり、一般的に CO 及び HC (炭化水素) の排出量が削減する。ニート・エタノールの場合アルデヒドはガソリンの 3 倍も排出するが、エタノールはアセトアルデヒドを排出することから、その毒性は低い。

(2) 社会面

1) 砂糖の増産

プロジェクトのケースとして、サトウキビ工場では現状の大規模工場と同様に、砂糖を併産するケースも想定している。この場合には、プロジェクト完了時には 130 万トンの砂糖が増産されることになり、現状の 2 倍以上の生産量となる。

この量については、将来の中国の需要増大を想定すれば、中国等への輸出による国際市場で吸収出来る量であるとの見解があるが(カウンターパートである ITB の見解)、その場合の砂糖価格の下落は避けられないだろう。

この点を考慮すれば、エタノール工場の生産形態としては、ブラジルと同様に砂糖を併産する工場とエタノールのみを生産する工場が並立される形か、または設備的には余剰分を持つことになっても、どちらのケースも可能なような設備対応とすることになる。

2) 雇用の創出

サトウキビ栽培は基本的には、労働集約型農業であり、多くの労働力を必要とする。ブラジルの例ではサトウキビ栽培面積当りで百万ヘクタール当りでサトウキビの栽培関係で1,600人、これに付随するエタノール工場の従業員として700人程度の雇用を必要としている。このデータを基準にして、本プロジェクトのケースの雇用効果を試算すると、表6.3.4のようになる。

表 6.3.4 プロジェクトによる雇用効果

	2001	2002	2003	2004	2005
ケース 1					
工場数	-	-	4	4	9
雇用人数 サトウキビ	-	-	7,600	7,600	17,100
工場	-	-	2,800	2,800	6,300
ケース 2					
工場数	-	-	2	2	4
雇用人数 サトウキビ	-	-	3,800	3,800	7,600
工場	-	-	1,300	1,300	2,600

(注) サトウキビ栽培従事者：1,900人/工場

エタノール工場従業員：砂糖併産ケース 700人/工場

エタノールだけのケース 650人/工場

6.4 プロジェクトの持続可能性

本プロジェクトは、サトウキビ栽培及びエタノール製造工場の能力増強を基盤として、エタノールを燃料に使用することを内容とする。

プロジェクトの持続性を確保するためには、エタノールを価格及び量の問題から安定的に供給する必要がある。ガソリン価格については、現在では各国の国内価格も原油価格に連動しており、ベトナムでは昨年秋の原油価格の高騰に伴い、小幅ながら値上がりをしてきた。エタノールをガソリン基材として想定するためには、原油価格の変動に伴うエタノール価格の変動を吸収する政策の導入が必要になる。またエタノール生産の基盤となるサトウキビ生産を確保する政策も前提となる。

今後、原油価格の大幅な下落がなく、以上のような政策が維持されていれば、プロジェクト終了後においても持続されるはずであり、また CO2 排出量の取引権の活動が活発になりプロジェクトが成功すれば、更なる計画の拡充も想定されることになる。

6.5 プロジェクトの対象地域外の普及・適用効果

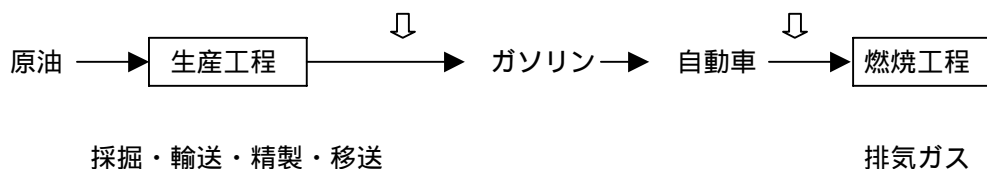
本プロジェクトは、熱帯地域における未利用土地で農地への変換可能地域では、同様の内容で計画を立案することが可能であり、他の東南アジア地域での普及適用効果が期待できる。

東南アジア地域では、本プロジェクトと同様にエタノールの導入を検討している。タイのタイ石油公社（PTT）による、エタノールを 10% 混合するガソリンを供給する、という計画の情報がある。この計画が実現すれば、タイでは 2~3 年後にはガソリンの全量をガソリンに置き換え、ガソリン供給量の 10% をエタノールで賄うことになる。（日経 2001 年 1 月 8 日）

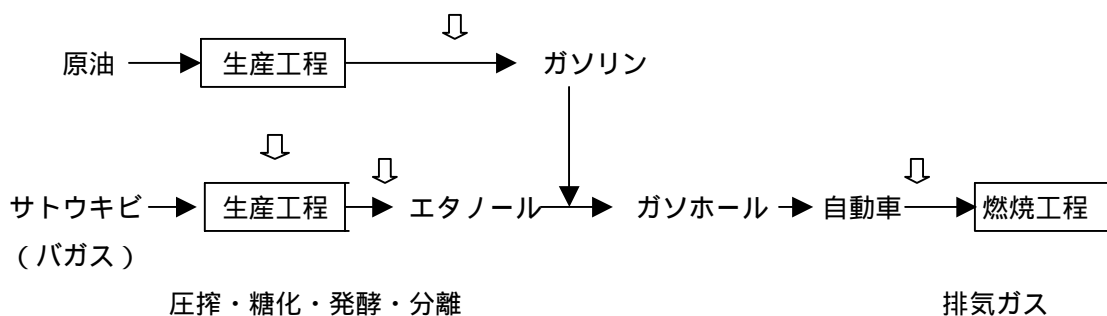
6.6 効果の具体的な確認方法（モニタリング方法）

ベースライン及びプロジェクト実施によるガソール導入時のフローは以下ようになる。

ベースライン



プロジェクト



CO₂ 発生量削減効果の確認方法は、上に示した図において、⇩印の個所の発生量を把握することになる。具体的方法を以下に記す。

1) ベースライン

ガソリンの年間供給量（参考値）

ベトナムではガソリン製品を輸入しており、石油製品輸入関係者より、ガソリンの年間供給量を確認する。

ガソリンの年間販売量

ガソリン販売業者からの油種別の販売量実績を把握し、それらが全てガソリンで販売されたとし、ガソリンの年間販売量を確認する。

2) プロジェクト

ガソリンのガソホールへの年間混合量（参考値）

ガソリンとエタノールの混合は国内で行うことから、従来のガソリン製品輸入の体制は、ガソリン基材の輸入に変更される。ガソリンとエタノールの混合作業を行う石油製品輸入関係者より、ガソリンの年間供給量を確認する。

エタノール生産工場におけるエタノールのガソホールへの年間混合量（参考値）

ガソホールに混合するエタノールは、混合作業を行う石油製品輸入関係者が購入することになり、この量からエタノールの年間混合量を確認する。

ガソホールの年間販売量

ガソリン販売業者からの油種別の販売量実績を把握し、その中からガソホールの年間販売量実績を把握する。

エタノールの生産工程で使用される燃料の種類、量

エタノールの生産工程で使用される燃料の種類、量によって、CO₂ 発生量は変化することになるので、この値を把握する。

、及び から、ベースライン及びプロジェクトのガソリン、ガソホールの年間販売量実績及びエタノール生産工程の CO₂ 発生量を把握し、それぞれの生産工程、燃焼工程の年間 CO₂ 発生量を算出する。

6.7 プロジェクトの実現可能性

本プロジェクトのように、バイオマスエタノールをガソリンに混合して大規模にて使用している例として、ブラジルを始め米国中央部がある。これはバイオマスエタノールが、含酸素燃料としての環境改善効果があることに加えて、化石燃料以外の液体の再生可能エネルギーであること、等の理由から国家プロジェクトとして、又は政府による支援策が取られていることになる。

自動車燃料に含酸素燃料を混合することは、石油が安く手に入るようになる以前は広く実施されていた、という事実がある。

現地調査において、現地カウンターパートとの接触では積極的な情報提供及び当方へのコメントがあり、現地側の熱心さが見られ、バイオマスエタノールが地球温暖化の問題を機会に、再度見直されていることから、燃料への混合利用することを真剣に検討している。

この様な背景と本調査の結果を加味すれば、本プロジェクトの実現性はかなり高いと考えられる。

7. まとめ

本調査は、ベトナムにおけるバイオマスエタノールを製造し、ガソリン燃料に混合して使用し、CO2 排出の削減を行う計画の実行イメージを構築し、プロジェクト実行のための基本データを算出したものであり、今後ベトナム政府関係者による基本計画策定へ向けての参考とするものである。

現地調査の「クリーン開発メカニズムに対する政策・方針」の中で報告しているように、CDM 事業のプロジェクトの条件として、以下の項目を挙げている。

- ・国の利益に合致すること
- ・効果が測定可能で長期間持続すること
- ・温室効果ガスの排出量が減少すること
- ・環境に影響を与えないと保障された技術であること

本プロジェクトは、この条件を満足するものであり、本調査により実現可能性が認められたことから、今後更に実現化を図るために、以下の内容の調査を実施する必要があると考える。

- 1) エタノールコストの安い方法の検討と調査
 - ・プロセスの効率アップ
 - ・糖化、発酵工程のコストダウン
 - ・サトウキビ搾りかす（バガス）の収率アップ
 - ・他バイオマス原料の確保と利用可能性
- 2) 詳細設備費の検討
- 3) サトウキビ栽培地の確保
 - ・サトウキビ栽培の収量アップの検討
- 4) エネルギー及び農業政策・計画の中への提言

文献リスト

- 1 . 「バイオマスによる燃料・化学原料の開発技術資料集成」, フジ・テクノシステム (1981)
- 2 . 「バイオマス利用技術海外研究動向調査報告」(その 1 , 2 , 3) , 齊木 隆
- 3 . 「世界で進展するバイオマス利用」, 森川 康,
バイオサイエンスとインダストリー Vol.58 No.4 284 (2000)
- 4 . 「アルコール発酵(酵母)」
- 5 . 「アルコール・バイオマス研究会講演会 予稿集」
財団法人 バイオマスインダストリー協会, 平成 12 年度
- 6 . 「バイオマス燃料 主要技術と実用化の状況」, 齊木 隆,
ペトロテック, Vol.22, No.1, 65 (1999)
- 7 . 「バイオマスの開発状況」, 大田口 和久, 化学工学, Vol.63, No.3, 144 (1999)
- 8 . "Global Warming and Vietnam", Sarah Granich, Mick Kelly, Nguyen Huu Ninh
Sponsored by Stockholm Environment Institute and Swedish International
Development Authority, (1993)
- 9 . "Statistical Yearbooks 1996-1198", General Department of Customs
General Statistical Office, Vietnam
- 1 0 . "Statistical data of Agriculture 1999"
Dept. of Agriculture, Forestry and Fishery, Vietnam
- 1 1 . "Vietnam's Agriculture" Tran Thi Que, Institute of Asian Studies, Singapore
- 1 2 . "Biodigestion of vinasse in Brazil" INT. SUGAR JNL, Vol.100, No.1196, 403-413 (1998)
- 1 3 . 「バイオマスからの燃料油の生産技術の普及基盤に関する調査」
新燃料油技術開発研究組合 平成 4 年 2 月

- 1 4 . "Process Design and Costing of Bioethanol Technology : A Tool for Determining the Status and Direction of Research and Development" National Renewable Energy Laboratory " Biotechol. Prog. 15,794-903 (1999)
- 1 5 . "Ethanol from Biomass by Enzymatic Hydrolysis" Solar Energy Research Institute CEP, August 62-74 (1988)
- 1 6 . "Outlook for Biomass Ethanol Production and Demand" NEIC (National Energy Information Center), Apr. 26, (2000)
- 1 7 . "Rural use of lignocellulosic residues" Food and Agricultural Organization of the United Nations, (1989)
- 1 8 . "Biotechnology for the conversion of Lignocellulosics to Ethanol" IEA Task 26 newsletter, May (1998)
- 1 9 . "Energy as an Instrument for Socio-Economic Development" UNDP:SEED(Sustainable Energy and Environment Division), (1995)
- 2 0 . "Life-Cycle Analysis of Alternative Automobile Fuel/Propulsion technologies" Environ. Sci. & Tech., Vol. 34, No.17, 3598-3605 (2000)
- 2 1 . "Fuel-Cycle Greenhouse Gas Emissions Impacts of Alternative Transportation Fuels and Advanced Vehicle Technologies" Transportation Research Record, No.1664, 9-17 (1999)
- 2 2 . "A case study for Life Cycle Assessment (LCA) as an Energy Decision Making Tool: The Production of Fuel Ethanol from Various Feedstocks", SAE Transactions Vol. 107, 2149-2165 (1998)
- 2 3 . "Volvo Environmental Database for Fuels", SAE Special Publications, SP-1545, 107-113 (2000)
- 2 4 . 「石油製品のライフスタイルインベントリーの作成に関する調査報告書」財団法人石油活性化センター 平成9年3月

- 2 5 . "Life cycle assessment of gasoline and diesel" Resources, Conservation and Recycling
14, 251-263 (1995)
- 2 6 . "Alternative Road Transport Fuels - A Preliminary Life-cycle Study For the UK"
Energy Technology Support Unit (ETSU) , March (1996)
- 2 7 . "Driving with Alcohol", Encompass Magazine, Vol.3, No.1, October (1988)
- 2 8 . "Ethanol Industry Outlook 2001", Renewable Fuels Associations, Feb. (2001)