

国際協力事業団

トリニダード・トバゴ共和国
エネルギー・エネルギー産業省

トリニダード・トバゴ共和国
石油汚染対策計画調査
報告書
(要約)

1995年1月

JICA LIBRARY
J 1124496(9)

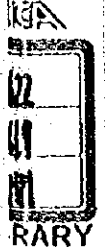
テクノコンサルタンツ株式会社
コスモ石油株式会社

鉱調工
JR
95-012

国際協力事業団 トリニダード・トバゴ共和国 エネルギー・エネルギー産業省 トリニダード・トバゴ共和国 石油汚染対策計画調査 報告書 (要約版)

1995年1月

テクノコンサルタンツ株式会社 コスモ石油株式会社



国際協力事業団

トリニダード・トバゴ共和国
エネルギー・エネルギー産業省

トリニダード・トバゴ共和国
石油汚染対策計画調査
報告書

(要約)

1995年1月

テクノコンサルタンツ株式会社
コスモ石油株式会社



1124496(9)

序 文

日本国政府は、トリニダッド・トバゴ共和国政府の要請に基づき、同国の石油汚染対策計画にかかる開発調査を行うことを決定し、国際協力事業団がこの調査を実施しました。

当事業団は、平成5年9月から平成6年12月までの間4回にわたり、テクノコンサルタンツ株式会社の田中恒二氏を団長とする調査団を現地に派遣しました。

調査団は、トリニダッド・トバゴ政府関係者と協議を行うと共に、計画対象地域における現地調査を実施し、帰国後の国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなりました。

この報告書が、本計画の推進に寄与すると共に、両国の友好・親善の一層の発展に役立つことを願うものです。

ここに調査にご協力とご支援をいただいた関係各位に対し、心より感謝申し上げます。

平成7年1月

国際協力事業団

総裁

藤田 公郎

目 次

第1章 緒言	1
第2章 結論および勧告の要約	5
第3章 調査の背景	9
3-1 石油汚染の背景	9
3-2 トリニダッド・トバゴ共和国の自然・社会・経済状況	10
3-3 経済開発政策	11
3-4 原油・石油製品の生産および貿易	11
3-5 環境保護の現状	12
3-6 エネルギー部門の政策、プロジェクト、プログラム	14
第4章 石油汚染および汚染対策の問題点	17
4-1 問題点	17
4-2 概論	17
4-3 生産井およびタンクファーム	17
4-4 ダムおよびキャッチ	19
4-5 Pointe-a-Pierre製油所	20
4-6 含油廃棄物	21
第5章 エマルジョンと廃棄物の性質と処理	23
5-1 エマルジョン	23
5-2 廃棄物	27
第6章 気候状況の石油汚染への影響	29
第7章 プロジェクトスキーム	33
7-1 50ppm 目標値の定義	33
7-2 Pointe-a-Pierre 製油所における排水処理	34
7-3 Bernstein タンクファームにおける排水処理	35

7-4	ダムおよびキャッチ	36
7-5	廃棄物処理センター	36
7-6	実施スケジュール	37
第8章 概念設計		39
8-1	物質収支	39
8-2	概念設計の条件	41
8-3	設備設計の仕様	44
8-4	設備の設計	48
第9章 コスト		49
9-1	コスト見積の基本方針	49
9-2	建設費	49
9-3	操業費用	51
9-4	その他の費用	53
9-5	基本設計および建設業者選定のためのコンサルタントフィー	53
第10章 評価		55
10-1	前提条件	55
10-2	総所要資金	55
10-3	運転資金	57
10-4	経済コスト	57
10-5	経済的負担額	60
10-6	経済的負担額の評価	60
10-7	社会経済的便益	62
10-8	便益と費用	63
10-9	代替案の検討	63
10-10	油田の寿命	66
第11章 結論および勧告		67
11-1	結論	67
11-2	勧告	76

表 目 次

Table 6-1 Results of the Calculations	30
Table 8-1 Estimation of Waste Water Discharges	44
Table 8-2 Process Design Specifications of the Waste Water Treating System at Pointe-a-Pierre Refinery	45
Table 8-3 Process Design Specifications of Waste Treatment Center at Pointe-a-Pierre Refinery	46
Table 8-4 Process Design Specifications of the Waste Water Treating System at Bernstein Main Storage	47
Table 8-5 Process Design Specifications of Waste Treatment Center at Bernstein Main Storage	48
Table 9-1 Installed Cost of Facilities and Modifications at Pointe-a-Pierre Refinery	50
Table 9-2 Installed Cost of Facilities and Modifications at Bernstein Main Storage	50
Table 9-3 Total Variable Operation Cost for Pointe-a-Pierre Refinery	51
Table 9-4 Total Fixed Operation Cost for Pointe-a-Pierre Refinery	52
Table 9-5 Total Variable Operation Cost for Bernstein Main Storage	52
Table 9-6 Total Fixed Operation Cost for Bernstein Main Storage	53
Table 10-1 Total Capital Requirements	56
Table 10-2 Working Capital	57
Table 10-3 Economic Costs of the Program	58
Table 10-4 Economic Operation Costs	59
Table 10-5 Case Study of Economic Value Generation for Waste Water Treating Capacity at Bernstein Main Storage	65

List of Abbreviations

ACA	Activated Carbon Adsorption
API	American Petroleum Institute
ATOC	AMOCO Trinidad Oil Company Limited
BBL	Barrel, a unit of volume equivalent to 159 liters
bbls	Barrels
BCF	Billion cubic feet
Bls	Barrels
BOD	Biological oxygen demand
BOPD	Barrels of oil per day, bpd
bpcd	Barrels per calendar day
BPD	Barrels per day
bpsd	Barrels per stream day
BM	Breakdown maintenance
CARICOM	Caribbean Community
CARIRI	The Caribbean Industrial Research Institute
CNG	Compressed natural gas
COD _{Cr}	Chemical oxygen demand by potassium bichomate method
COD _{Mn}	Chemical oxygen demand by potassium permanganate method
CPI	Corrugated plates interceptor
CTC	Carbon tetrachloride
DAF	Dissolved air flotation
DCF	Discounted cash flow
DCR	Dispersion by chemical reaction
DCS	Distributed digital control system
DEA	Diethanolamine
DRI	Direct reduction iron
EL	Elevation
EMA	Environmental Management Agency
EOR	Enhanced oil recovery
FRP	Fiber-reinforced plastics
GC	Gas chromatography
GC/MS	Gas chromatography/mass spectrometer
GDP	Gross Domestic Products

GIS	Geographical information system
hr	Hour
IADB	Inter-American Development Bank
JICA	Japan International Cooperation Agency
JIS	Japanese Industrial Standards
kcal	Kilocalories
kl	Kiloliters
kWatts	KiloWatts
KWh	KiloWatt-hours
LNG	Liquefied natural gas
LPG	Liquefied petroleum gas
MBD	Thousand barrels per day
MMCFD	Million cubic feet per day
MMSCFD	Million standard cubic feet per day
MOEEI	Ministry of Energy and Energy Industries
MTBE	Methyl tertiary butyl ether
MTPY	Metric ton per year
NGC	Natural Gas Company of Trinidad and Tobago Limited
NGL	Natural gas liquids
NO _x	Nitrogen oxides
NPMC	National Petroleum Marketing Company
NPV	Net present value
PAC	Poly aluminum chloride
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development
PCOL	Premier Consolidated Oilfields Ltd.
PECOL	Same as PCOL
Petrotrin	Petroleum Company of Trinidad and Tobago Limited
pH	Measure of acidity with 7 indicating neutrality
PM	Preventive maintenance
PPGPL	Phoenix Park Gas Processors Limited
PPI	Parallel plates interceptor
ppm	Parts per million
psia	Pounds per square inch absolute, a unit of pressure
psig	Pounds per square inch gauge, a unit of pressure
SCFD	Standard cubic feet per day
SCF	Standard cubic feet

SIM	Selected ion monitoring method
SOx	Sulfur oxides
sq.	Square
SS	Suspended solids
TCL	Trinidad Cement Limited
TDS	Total dissolved solids in ppm
Trintoc	Trinidad and Tobago Oil Company, Limited
Trintopec	Trinidad and Tobago Petroleum Company, Limited
TSS	Total suspended solids in ppm
TT	Trinidad and Tobago
TOC	Total oxygen consumption
VGO	Vacuum gas oil

第1章 緒言

本報告書は、国際協力事業団の事前調査団が、トリニダッド・トバゴ共和国政府のエネルギー・エネルギー産業省と、1993年2月8日にポートオブスペインで締結したS/Wに従って実施した「トリニダッド・トバゴ共和国石油汚染対策計画調査」の要約版である。本計画調査は、テクノコンサルタンツ株式会社とコスモ石油株式会社の共同企業体が、国際協力事業団との契約の下に遂行したものである。本書において、本書と共に同省へ提出するメインレポートの内容を要約する。

各専門家の氏名及び担当を本章の末尾に示す。調査は1993年9月に開始し、1995年1月に終了した。この調査期間中に、調査団は、同国において、1993年の9月から10月、1994年の2月から3月および1994年の7月から8月のそれぞれ約1カ月に亘る3回の現地調査と、1994年の12月にはドラフト・レポートの説明会およびセミナーの開催を行った。

S/Wは本計画調査の目的を下記の如く述べている。「本計画調査の目的は石油汚染の現状をレビューし、共和国の石油セクターの公害を最少にするプログラムを策定し、それにより地域の健全なる産業の発展と下記製油所及び施設に係わる環境の保護に貢献する。」

1. Pointe-a-Pierre製油所
2. 陸上油田
3. 貯油設備およびパイプライン

陸上油田、貯油設備およびパイプラインの調査範囲に関しては、S/Wおよび、これに添付した議事録で更に具体的に定められ、メインレポートの第3章「調査範囲」にて詳しく説明する。本計画調査の最も主要な点は、陸上石油設備から排出される排水中の油分濃度を目標値以下とするための計画の策定にある。目標値は、月間平均値50ppm、日量最高値75ppmと定められている。排水の環境に対する影響の評価に関しては、調査範囲に含まれないことに注意が必要である。

調査団は、本調査を遂行することにより、上記の目的を達成した。調査は、前述の3設備における石油汚染の様々な状況を包含したものである。調査には多くの困難が伴ったが、中でも、原油同伴水に関する調査は最も面倒なものであった。本調査の、最も重要な結論と勧告は、この排水の真の性質を見極め、その処理方法を見出すことにより得られたものである。

調査団の調査により、上記の水が、直径1ミクロン以下から、最大10ミクロンの微小な油滴が水中に均一に分散した、極めて安定な水中油滴型のエマルジョンであることが見出された。このエマルジョンは、本来極めて安定であり、APIセパレータ、PPI、CPIと云った従来からの重力式分離機では水と油に分離し得ないものである。一連の実験を行い、本エマルジョンを破壊し、水中から油滴を除去する方法としては、加圧浮上法が適していることが明かとなった。

本調査の排水処理には、加圧浮上法が適していることが認められたものの、加圧浮上処理により水中の油滴を除去した後でも、いくつかの水については、ASTMの標準分析法により分析を行った場合、50ppmを越える物質を含んでいる、と云う、今まで表面には出ていなかった問題が生じた。この水の処理方法を見出すために、生物処理法および活性炭吸着法の、一般的に広く採用されている2つの処理法のテストを行った。この結果に基づき、調査団は、陸上油田/タンクファームの排水処理には、加圧浮上法と活性炭吸着法の組み合わせを、また、Pointe-a-Pierre 製油所の排水処理には、加圧浮上法の設置を提案した。これにより、月間平均値50ppm、日量最高値75ppmの目標値は達成される。

上記以外に本調査には、社会・経済的背景の調査、水質汚染に関する気候および地理学的影響調査、含油廃棄物の処理法の調査、法律および規制の調査、製油所およびガソリンスタンドにおける大気汚染調査、メンテナンス改善のための勧告、偶発的な汚染事故の対処法、を含んでいる。

本調査は、汚染の防止と設備計画・投資見積、評価、結論および勧告、と広範な包括的内容を含むものであるが、対策計画の中心を成すのは、Bernstein タン

クファームの排水処理のために提案した加圧浮上装置と活性炭吸着設備、および、Pointe-a-Pierro 製油所の排水処理のために提案した加圧浮上装置である。

調査団の氏名と担当を示す。下記11名の専門家により構成される。

氏名	担当	
田中 恒二	団長・総括	テクノコンサルタンツ株式会社
今枝 良隆	産業振興・環境行政	テクノコンサルタンツ株式会社
マハブブ A.K.M. レジャ	気象・水文学	株式会社三祐コンサルタンツ
佐々木 敏雄	原油生産技術	テクノコンサルタンツ株式会社
吉沢 宗晃	原油輸送・貯蔵設備	テクノコンサルタンツ株式会社
石山 明	製油プロセス技術	コスモ石油株式会社
上杉 外茂雄	運転保全技術	コスモ石油株式会社
日原 健	油水分離技術Ⅰ	東邦化学工業株式会社
佐藤 信介	油水分離技術Ⅱ	テクノコンサルタンツ株式会社
名取 真	排水処理設備	テクノコンサルタンツ株式会社
佐藤 好和	廃棄物処理	コスモ石油株式会社

第2章 結論および勧告の要約

本章では、調査の主たる結論および勧告を要約して述べる。

1. 計画の提案

50ppm の目標値を達成するために、Bernstein タンクファームに加圧浮上装置 (D A F) および活性炭吸着設備 (A C A) の設置を、Pointe-a-Pierre 製油所には D A F のみの設置を提案する。

これらの建設費は、1994年のトリニダッド・トバゴ価格を基準として、それぞれ16,300,000 米ドルおよび3,317,000米ドルと見積もられる。また、年間操業費は、4,769,000 米ドル、あるいは原油1パーレル当たり0.22米ドルである。本報告書は、この費用を妥当であると判断する。

2. ダムおよびキャッチ

蓄積した油が流出するのを防止するために、現在河川に設置されているダムおよびキャッチに関しては、拡張の必要はないと提言する。

3. 原油生産時の同伴水、水中油滴型エマルジョン

原油生産時の同伴水は、極めて安定な水中油滴型のエマルジョンを形成している。油汚染の最も重要な原因は、このエマルジョンであることが確認された。一般的な重力式の油水分離機ではこのエマルジョンを水と油に分離することは出来ない。この排水の処理には、加圧浮上法 (D A F) が効果があり、また、実際の排水処理に適用可能であることを見出した。本法を用いると、処理後には、水中に油滴の残存が観察されない極めて清澄な処理水が得られる。

4. D A F 処理後の水

原油生産時に同伴される水は、溶解物質を含むため、D A F 処理後、更に A C A による処理が必要である。このことにより、Bernstein タンクファ

ームには、DAFおよびACAの両方を備えた排水処理設備を提言した。

5. プロジェクトスキーム

Pointe-a-Pierre 製油所およびBernstein タンクファームについて、次のプロジェクトスキームを提案する。

	Bernstein Main Storage	Pointe-a-Pierre Refinery
Design conditions for DAF and ACA Units		
Flow rate, cubic meters per hour:	440/400	250
Oil content of water, mg/liter		
Inlet	1,000	400
Treated water	50	50
Waste treatment system, Schedule, year	to be included	to be included
Preparation	1	1
Construction	1	1

排水は、Los Bajos タンクファームからBernstein タンクファームまで移送される。

6. 評価

排水処理設備を運転・維持するための年間の負担費用は、4,769,000 米ドル、または、バレル当たり0.22米ドルである。この負担費用は、種々の経済指標との比較、石油輸出から得られる収入の割合、経済コストに対し実質的に生じる経済価値、汚染防止の重要性と期待される社会・経済的便益、等を考慮した場合、妥当であると判断される。

7. 勧告

50ppm の目標値の達成のために、プロジェクトスキームにて定めた計画の実施を勧告する。1 バレルの原油を生産するために、これとは不釣り合いな大量の水を産している低効率の油井が、全体の処理費を増加させている。本調査で行ったのと同様の検討を、更に広い範囲のデータを用いて

行うべきである。汚染水量の低減と、処理費用の軽減のため、低効率の油井の運転停止についての検討を行うべきである。

排水処理設備の処理後の排水中に溶解している物質の、水生生物に対する影響は明確にされていない。従って、政府およびPetrotrinは、これらの物質の水生生物体内への蓄積およびその影響を、長期間に亙り監視すべきである。

上記の他、提案した種々の運転およびメンテナンスに関しては、Petrotrinの予算の許す範囲で実施することを勧める。アーサンピットの使用は中止すべきである。大きな偶発的な汚染事故の原因となる可能性のある設備に関しては、例外無く全て予防保全（プリベンティブ・メンテナンス）を行うべきである。

第3章 調査の背景

3-1 石油汚染の背景

トリニダッド・トバゴの陸上油田は老朽化したものが多く、水蒸気圧入による二次回収が広く行われている。水蒸気圧入により得られる原油は、原油が乳濁した多量の水を同伴する。この同伴水、即ち水中油滴型エマルジョンは、多量の油を含み、その濃度は10,000ppmを超える場合さえあり、通常の重力分離法では油分が分離され得ないものである。この結果、多量の油を含む排水が、河川へ放流されている。

環境規制の面では、1969年に施行された石油法において「油分汚染防止に関する規制措置」がうたわれているが、具体的な規制は採られていない。1989年には石油産業における排水中の油分に関する排出基準のガイドラインが提示されたが、技術的・経済的な問題もあり、法律として実施されるには至っていない。

地球的規模での環境問題への取り組みが必要とされている昨今、同国の石油産業を拡大していくためには、環境対策は避けて通れない問題である。例えば、同国がPointe-a-Pierre製油所にて計画している石油精製設備の能力増強計画に対して、観光を主産業とするカリブ海諸国への影響を含めて地域レベルでの石油汚染対策を行うことを、国際金融機関が融資の条件としている。

現金収入を伴わない環境対策を効率的に行うためには、行政面での対応が極めて重要となる。トリニダッド・トバゴでは中期政策の中で環境対策を最重要課題の一つと位置づけ、環境対策の具体的な第一歩として、環境庁（Environmental Management Agency; E M A）が設立されるた。また、世界銀行の協力の下、E M Aが中心となって環境基準案を作成することとなっている。

3-2 トリニダッド・トバゴ共和国の自然・社会・経済状況

同国の気候は熱帯性で、季節変化は少ない。雨は年間を通して多いが、最も多雨となるのは雨期の6月～12月である。年間降水量は地域により異なるが、1,500～3,000mm程度である。雨期には時折豪雨が降り、これが石油汚染を悪化させる原因となっている。

トリニダッド・トバゴの経済は、原油・石油製品の輸出に依存する構造となっているが、1980年代半ば以降は、石油価格の下落、原油生産量の減少等により、石油産業の重要度はやや低下している。しかし、天然ガス資源の開発・利用が推進されたこともあり、エネルギー資源をベースとする輸出型の産業構造に変化はない。

GDPに占める石油部門の比率は、約25%となっている。この比率は、一見さほど大きくない様にも見えるが、他産業への関連度も大きく、見かけほど小さいものではない。

貿易収支は石油・石油化学製品の輸出に支えられ黒字となっている。しかし、石油産業の外資系企業の本国への配当送金のためにサービス収支は大幅に赤字で、経常収支・全体収支共に恒常的に赤字となっている。

主要輸出品目は、原油、石油製品、アンモニア、尿素、メタノール、直接還元鉄等、同国の炭化水素資源を利用したものである。1991年を例にとると、原油および石油製品の総輸出に占める割合は64.5%、これに天然ガスを原燃料とする製品を加えると総輸出の85%を超える。

3-3 経済開発政策

石油産業はトリニダッド・トバゴの基幹産業であり、今後とも重要な役割を果たすことは間違いない。しかし、同時に、石油産業への過度の依存は同国経済の弱点となっている。同国政府は、以上の認識の下、石油産業の再活性化と共に、経済の多角化を重点課題としている。経済開発のための対策として重視されているのは、民間企業、特に外資による投資の促進であり、魅力ある投資環境の整備を進めている。これらを推進するために、天然ガスを原料あるいは燃料として使用する産業が有力視されている。

3-4 原油・石油製品の生産および貿易

陸上油田からの生産に限定すると、Petrotrin が事実上独占状態にある。同社が陸上油田で生産する原油は国内の2カ所の製油所に送られ、東方海上油田で生産される原油は輸出されている。TRINMARはバリア湾にて生産を行っている。1992年における同社の生産量は、総生産量の約23%に相当する32,000BPDであった。原油は全て Petrotrinに販売され、株主であるテキサコには配当金のみが支払われている。

同国で生産される原油の約50%は原油として輸出され、残りは精製用に利用されている。1992年には生産量の51%に相当する2,689万パーレルが精製用に利用され、残りの49%が原油として輸出された。ただし、トリニダッドにおける石油製品の国内消費量は、原油生産量の約10%に相当する500万パーレル程度であるので、同国で生産される原油の90%は輸出されていることになる。

天然ガスは、1959年にアンモニア原料としての利用が始まった後、用途が多様化すると共に、消費量も急増した。現在、天然ガスを最も多く使用している産業は石油化学工業であり、3億立方フィート/日を超えるガスが、アンモニア、尿素、メタノールの製造に利用されている。各種石化製品は、国内需要が小さいため、90%以上が輸出されている。石油化学に次いで消費量が多いのは発電燃料で

ある。トリニダッド島にある3基の発電所は全て天然ガスを燃料としており、約1億4,000万立方フィート/日のガスが消費されている。また、製鉄を初めとする工業用燃料としての利用も盛んである。

3-5 環境保護の現状

一般に、石油汚染は、河川、海域および土壌の汚染に大別される。トリニダッド・トバゴにおいては、汚染源に近い河川の汚染が最も深刻である。油田地帯を流れる多くの河川では水面に黒色の油が浮上している他、河川の両岸に原油の付着が見られる。また、水蒸気圧入により生産される原油の同伴水が流入する河川では、河川水が薄茶色を呈している。着色の原因は土砂ではなく、水中に乳化懸濁した油（エマルジョン）である。河川の油分濃度は、地域・季節等により異なるが、調査団が実施した測定結果は20ないし1,000ppmを越える範囲にあった。

海域については、トリニダッド島の西海岸のバリア湾の汚染が最も顕著であり、中東の油田地帯と比較しても汚染が進んでいる。原油生産地帯に近いバリア湾南部の海は、海岸から数百メートルが、一部の河川と同様、薄茶色を呈している。このことは、河川から流入したエマルジョンが海域でも分離・分解しないためである。バリア湾の汚染が深刻な理由は以下のとおりである。

- 油田地区を流れる河川の殆どがバリア湾に注いでいること。
- 2つの製油所があること。
- 原油・石油製品の積み出し港があること。
- バリア湾は準閉鎖水域となっていること。

土壌の汚染に関しては、汚染地域が限定されていることから、現状では、それほど大きな問題とはなっていない。しかし、今後、地下水の汚染等の二次的な問題を引き起こす可能性がある。

主要な汚染源は、陸上油田、ギャザリングステーション、タンクファームおよび製油所であり、原油の水切りの際の排水に含まれる油分が問題である。中でも、

水蒸気圧入により生産されている原油の処理を行っている施設から排出されるエマルジョンを含んだ排水が最大の問題となっている。

トリニダッド・トバゴは、石油汚染以外にも、液体および固体の有害物による汚染、都市部の大気汚染、北部を中心とする森林破壊等の環境問題に直面している。同国では、28の機関と40の法律により環境行政が行われている。中心となっているのは、計画・開発省（Ministry of Planning and Development）の環境課（Environment Division）である。また、同省の都市計画課（Town and Country Planning Division）が工場、道路、ビル等の建設・開発計画に承認を与える権限を持っており、特定業種については申請時に環境影響評価書の添付を義務づけている。しかし、強制力を持つ規制が無い、環境保護に対する知識・人材が不十分である等の理由から、環境行政が十分に機能しているとは言い難い。

同国政府は、中期政策（Medium Term Policy Framework）にて、環境保護を重要課題の一つに位置付けている。環境保護政策の第一歩として、環境行政を包括的に担当する環境庁（Environmental Management Agency:EMA）が設立された。環境庁の設立は、現行の複雑な環境行政システムの改善に寄与するであろう。

トリニダッド・トバゴには大気汚染、水質汚染に関する規制が無く、有害廃棄物の規定も明確ではない。石油産業においては、エネルギー・エネルギー産業省が、1989年に Draft Guidelineを公表し、油田および製油所からの排水中の油分の月間平均値を50ppm、日量最大値を75ppm以下とすることを石油会社に呼びかけた。この基準値は、米国環境保護局（EPA）の助言と、近隣の産油国にて採用されている基準値を参考に定められたものであり、1990年より施行される予定であった。しかし、国営石油会社のPetrotrin（当時はTrintocおよびTrintopec）が50ppmの規制値を守れないため、未だに実施されていない。なお、アモコおよびTRINMARは、油水分離が比較的容易な原油を扱っており、また、この規制値の順守が可能である。

環境庁が、設立後、最初に取り組む重要な任務は環境規制・基準の作成である。

この作業は、世界銀行の融資（Business Expansion and Industrial Restructuring Loan）を受けて、本年中に開始される予定である。モニタリングシステムも環境庁が中心となって制定されることとなっている。詳細は未定であるが、費用の問題から、環境庁、他の省庁および企業の3者が分担してモニタリングを行うこととなろう。

3-6 エネルギー部門の政策、プロジェクト、プログラム

石油および天然ガスはトリニダッド・トバゴ経済の屋台骨であり、この状況は今後も大きく変わることはないと予想される。同国の石油・天然ガス部門の基本的な開発政策は、「石油探鉱・生産の再活性化」および「天然ガス資源の利用促進」である。上記の政策を実施するための基本方針は、海洋油田開発、石油化学等の資本集約型でリスクの高い分野に外国企業の投資を促し、自国の直接投資を極力減らすことである。また、この方針に沿って、石油税の見直しを含む、各種の改革が行われている。

エネルギー部門における最大のプロジェクトとして、予備検討の段階を脱していないが、日産4億立方フィートのLNGプラントを建設し、ガスを米国の東北部に輸出する計画がある。このプロジェクトの主要なガス供給源は東方海洋のガス田が予定されている。総建設費は約10億ドルと推定されている。このプロジェクトは安定した外貨収入を保証するのみならず、雇用機会の増大をもたらす。政府は、建設期間のピーク時には3,000人、操業開始後は300人が常勤として雇用されるものと期待している。

運輸部門では、圧縮天然ガス（CNG）によるガソリンの代替が検討されている。現在は、CNGスタンドが10箇所しかないこともあり、自動車燃料としてのCNGの消費量は極めて少ない。しかし、大部分の自動車燃料がCNGに代替された場合には、余剰となったガソリンの輸出により多額の外貨を得ることができると期待されている。また、CNGは極めてクリーンな燃料であり、環境対策上、好ましい燃料である。

上記以外に、メタノールとイソブチレンを原料として、ガソリンのオクタン価向上剤であるMTBEを製造する計画がある。しかし、現段階では、イソブチレンの供給量に疑問があり、MTBEプラント建設は現実的でないとの意見もある。

環境保護に関する計画としては、ガソリン中の鉛の量を順次減らしていく方針を採っている。

第4章 石油汚染および汚染対策の問題点

4-1 問題点

調査報告書をまとめるに当たっては、実現が可能と判断される複数の対策案を総合的に検討し、石油汚染対策を適切に実施するための具体策を提示する必要がある。本章では、各章に示した問題点・課題を再度検討すると共に、結論および結論を得るに至った根拠を明示する。

4-2 概論

4-2-1 目標油分濃度の定義

目標油分濃度は、製油所および陸上の石油関連設備からの排水中の油分が、月間平均値50ppm、日量最高値75ppmを超えない事である。この50ppm、75ppmの数値は、ASTM D-4821 のフレオン抽出法により測定を行った場合の、試料水1リットル中に含まれる油分が50mg、75mgの意味である。

4-2-2 目標油分濃度の環境への影響

生体系への影響を考慮すると、50ppmの油分濃度は依然として相当な高濃度であるが、油分50ppmの排水の環境への影響は調査の対象外とする。

4-3 生産井およびタンクファーム

4-3-1 対象生産設備

Bernstein タンクファームは、タンクファームに必要とされている全ての機能を備えており、代表的なタンクファームと考えられることより、このBernstein タンクファームを調査の対象設備として選んだ。Bernstein タンクファームは、

サーマル原油およびノンサーマル原油の両者の排水を処理している最大のタンクファームであり、将来的には、陸上油田の集油、貯油の中心となるタンクファームである。このことにより、Bernstein タンクファームに排水処理設備が計画された。

4-3-2 原油生産に伴伴する水の処理

原油生産に伴伴する水には、非常に安定な水中油滴型のエマルジョンが含まれている。このエマルジョンが調査地域の河川へと流入し、油汚染を引き起こしている。50 μm の目標値を達成するためには、このエマルジョンの処理が中心的な問題となる。

4-3-3 凝集剤添加による加圧浮上法

重力分離装置およびエマルジョンブレイカーのみでは、この種のエマルジョンに対して有効でない事を確認した後、調査団は、エマルジョンを破壊し油水分離を効率的に行う事ができる唯一の方法は凝集剤添加による加圧浮上法であると判断した。

4-3-4 加圧浮上処理水の処理

加圧浮上処理水には油として同定される溶解物質が50 μm 以上含まれる事が明らかとなった。ガスクロマトグラフィー質量分析装置による解析の結果、処理水に含まれる物質は有機酸のアルカリ金属塩であると推定される。このような水の処理方法を見出すために、調査団は、生物処理および活性炭吸着の2つの方法を検討した。この実験結果から、原油生産に伴伴する水の処理に対する現実的な処理法は凝集剤を用いた加圧浮上法と活性炭吸着法の組み合わせのみであると判断する。この方法により、排水中の油分を目標である50 μm 以下に下げる事が可能である。

4-3-5 生産井からの石油漏洩

既存の石油設備の多くは非常に古いものである。メンテナンスコストを無視して、設備を最高の状態に維持する必要はない。大きな事故が起こらないように、また、漏洩事故が起こっても対処可能な様に、適切な維持・管理を行っておく事が重要である。漏出した油を回収し、流出を防ぐ事も非常に重要である。漏油が時々起こっている現在の状況下では、1～2台のバキュームカーによる巡回を行い、環境を汚染する前に漏油の回収を行う必要がある。

4-3-6 含油排水と雨水の分離

排水処理設備の負荷を小さくするために、雨水が含油排水処理設備に流入しないようにする必要がある。

4-3-7 石油の二次回収に関する検討

水蒸気圧入により原油生産を行っているいくつかの効率の悪い油井では、生産される原油の数倍の水を生産している。この様な油井から生産される原油量は、原油全体の生産量からみれば、10ないし20パーセントを占めるだけである。したがって、この様な油井の運転停止は排水処理費用の大幅な低減となるため、費用・便益の観点から、低効率油井の運転停止を検討してみるべきである。

4-4 ダムおよびキャッチ

4-4-1 気象・水文に関する調査結果

本調査の一環として行われた気象・水文調査の結果、調査対象の全てのダム・キャッチは洪水時に流入する雨水に対処できるだけの能力がない事が判明した。

4-4-2 ダムおよびキャッチが石油汚染防止に果たす役割

トリニダッド・トバゴでは、雨期に非常に多量の雨が断続的に降るので、雨水が水処理設備に流入する場合には流量が急激に増加する。従って、雨水による増量分まで処理する場合には、設備が非常に大きくなり、改造に多額の費用が必要となる。更に、ダムやキャッチを拡張したとしても、石油汚染の最も深刻な原因である原油同伴水の水中油滴型のエマルジョンに関しては、これらの設備は全く無効である。従って、ダムやキャッチの拡張は全く無意味である。

4-4-3 ダムおよびキャッチに浮かぶ油およびゴミに関する問題点

ダムやキャッチの堰に貯まっている油やゴミは環境に対する大きな問題ではない。堰の下を水と共に自由に流れるエマルジョンに比較すると浮上油の問題は小さいが、浮上油・ゴミ等の目に見える汚染源を放置する訳にはいかない。これらの汚染が発見された場合には、速やかに緊急処理班を現場に急行させ、回収を行うべきである。また、油を流出あるいはゴミを投棄した部署を特定し、同様の問題を起こさないように警告を行うべきである。公共水域に油やゴミが浮いたままになっているのは極めて異常な状況であると考える習慣を作るべきである。

4-5 Pointe-a-Pierre製油所

4-5-1 既存の油水分離装置の能力と効果

既存の4基のAPIセパレーターおよびガードベースンの処理水量は、油分を含まない水、即ち、雨水と冷却水の流入により、設計流量を大きく超えている。4基のAPIセパレーターの排出水中の油分は50ppmを大きく超え、1,000ppmを超える事も多い。調査団は、製油所に関しても、既存の処理設備に関しては現状の流量に対応可能な容量に能力を増強することはせず、含油排水の処理には新たに加圧浮上装置を導入し、これで処理を行い、非含油排水に対しては、既存の処理設備をこの目的に転用することを提案する。

4-5-2 水処理設備に関する改善提案

(1) 雨水と含油排水の分離

冷却水、雨水等の非含油排水は、含油排水と分離すべきである。

(2) 排水処理

調査団は、含油排水を個別に処理するシステムを新規に建設する事を提案する。既存の排水処理設備は、油分を含まない水の処理用に転用される事になる。調査団が提案する排水処理システムでは、プラントおよびタンク地域の全ての含油排水を集め、地上配管にて、適切な場所に新設される排水処理施設に送る事になる。排水処理システムは、凝集剤を用いる加圧浮上装置および付帯設備から成る。重力分離装置の組み合わせでは排水中の油分含量を目標値である50ppm以下とする事は不可能で、調査団が提案するシステムが目標値を満足する最も現実的な方法で、費用も安価である事を認識する必要がある。

4-5-3 実施中のアップグレーディングプロジェクト

IADBの融資を受けて実施中のアップグレーディングプロジェクトの一環として、雨水と含油排水の分離が進められている。Petrotrinは排水中の油分を150ppm以下に下げる計画を進めており、上記のプロジェクトは、その一部を担っている。この改善計画では水中の油分を約150ppmに低減させるのみであるため、調査団が提案するシステムが導入されると既存のシステムは雨水用に転用されることになるが、暫定的な対策としては実施する価値がある。

4-6 含油廃棄物

主たる含油廃棄物の種類は、タンク、オイルセパレータの清掃時に生じるスラッジ、正確には油中水滴型のエマルジョンであるスロップオイル、ガソリンスタンドあるいは自動車整備工場が発生する廃潤滑油等である。調査団は、スラッジ処理のため、現在Petrotrinが進めている生物処理法に関する計画を支持するも

のであるが、更に、廃潤滑油についても回収にまで廃棄物対策を拡張することを希望する。本計画ではスロップ油は廃棄物処理センターで焼却処理することを提案している。

本調査団の求めに応じ、Trinidad Cement Limited(TCL)は、スロップ油をセメント製造用の燃料として使用することの可能性についての検討を開始した。このことが、可能との結論を得た場合には、その実行について考慮する必要がある。

加圧浮上装置の稼働によりスカムが発生するが、調査団は、このスカムを脱水後焼却処理することを提案している。また、TCLは、このスカムをセメントの原料として使用することを検討中である。これが可能との結論を得たならば、これに関しても、その実行を考慮する必要がある。

4-6-1 土壌の再生

調査団は、現在行われている含油廃棄物のピットへの投棄を止めるべきであると考える。油が排出されている河川の土手、ピットの土、パイプライン等からの漏油により汚染された土地等、油により汚染された土壌の再生を行うべきか否かは、ケースにより異なる。ピットへの投棄の中止と漏洩油の回収により、土壌汚染問題は改善される。

4-6-2 廃棄物処理センター構想

調査団は、Pointe-a-Pierre製油所およびBernsteinタンクファームに廃棄物処理センターを設置する事を提案する。廃棄物処理センターには、スロップ油および加圧浮上装置から発生するスカムを燃焼するための焼却炉が設置される。

第5章 エマルジョンと廃棄物の性質と処理

5-1 エマルジョン

繰り返し述べた様に、トリニダッド・トバゴにおける石油汚染は、原油に同伴される水のような水中油滴型のエマルジョンと、スロップ油の様な油中水滴型のエマルジョンの2つの種類のエマルジョンに因って引き起こされている。エマルジョンに関する調査の結果を以下にまとめる。

1. 油田から産出する流体は、原油と水の混ざった原油エマルジョンを形成している。通常このエマルジョンの含水比率は最大30~40%である。一例として、Forest Reserveプライマリーの原油エマルジョンの場合、含水率が約30%強の、原油を連続相としたW/O型の均質なエマルジョンである。しかしながら、サーマルの油田からの含水原油は含水比率が高く、地表に産出される時点でW/O型の原油相と、O/W型の水相に分離している。Bernstein サーマルの場合、この原油エマルジョンの含水比率は約85%である。
2. 含水原油を油水分離した後の水相は、O/W型エマルジョンを形成している。このエマルジョンは微細な油滴が水相中に分散しており、粒径は0.1 ミクロン以下から数十ミクロンであり、油分濃度は数100mg/l から数万mg/lである。特に、サーマル油田のこのタイプのエマルジョンは、泥水状の外観で、油分濃度が10,000mg/l以上で、かつ極めて安定している。
3. トリニダッド・トバゴ国の油汚染の大きな原因の一つは、上述のO/W型エマルジョンの一部が、そのまま公共の水域へ放出されていることにある。
4. このO/W型エマルジョンの油滴は、油滴径が0.1以下から10ミクロンの間に分布しており、平均粒径は約2.5 ミクロンである。顕微鏡観察では、油滴はきれいな球形を保って水中に均一に分散しており、シルト等の微細な無機物質表面に吸着して安定化している様子は見られなかった。何らかの天然の安

定剤によりエマルジョンが安定化されていると考えられる。

5. 従って、このままの状態では、油滴粒径が小さすぎるため、API、CPI等の重力式油水分離装置では油水分離は行えない。油水分離を行うためには、エマルジョンを破壊し、油滴を会合粗粒化させる必要がある。
6. O/W型エマルジョンを破壊して、油層と清澄な水層に分離する方法の一つとして、含水原油を油水分離した後の分離水である、O/W型エマルジョンに、適当なりバースエマルジョンブレイカー（REB）を添加し、これによりエマルジョンを破壊し、清澄な水層を得る方法がある。
7. いくつかのREBでエマルジョン破壊効果が確認された。この内、有機系凝集剤では、カチオン系高分子凝集剤およびポリアミン系凝集剤の高い効果が確認された。無機系凝集剤では、試験を実施した塩化ナトリウム、塩化カルシウムおよび塩化第二鉄の全てに効果が確認された。
8. 以上より、油分を含んだ分離水、すなわちO/W型のエマルジョンにREBを作用させ、エマルジョン破壊による油水分離を行うことは十分に有効であると考えられる。
9. 一般に油分を分散質とするO/W型エマルジョンの破壊には、凝集処理が有効とされている。この様なO/W型エマルジョンに、REBの添加、加圧浮上と云った一連の操作をほどこした場合、水中の微細な油滴は、ほぼ完全に分離され、分離後の水中の油分濃度は10mg/l以下になるのが普通である。

上記では、油分を含んだ分離水であるO/W型エマルジョンの破壊に、いくつかのREBが有効であることが確認された。実際の試料水を用い、REBを添加しエマルジョンを破壊後、加圧浮上による油水分離試験を行ったところ、目視上は極めて清澄な水が得られた。これは水中に分散していた微細な油滴が、ほぼ完全に分離されていることを示している。しかしながら、こ

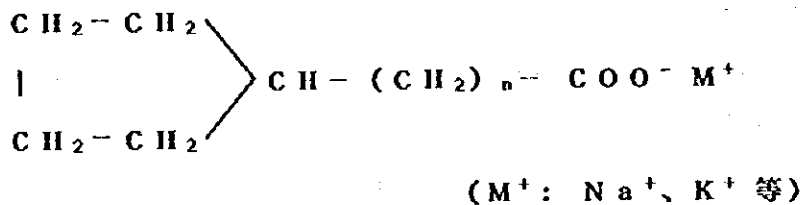
これらの清澄水中の油分濃度をN-ヘキサン抽出による重量法、あるいは四塩化炭素抽出-赤外線吸収法により分析を行ったところ、処理目標値の50mg/lを越える60mg/lないし139mg/lの値となった。これは、処理後の清澄水中に溶解性の物質が存在しており、この物質がN-ヘキサンあるいは四塩化炭素に抽出されて油分として検出されたものと考えられる。目標値の50mg/l以下を達成するためには、この溶解物質に関する知見が必要であり、このため、GC/MS（ガスクロマトグラフ質量分析装置）を用いて、溶解物質の成分分析を行った。

10. GC/MS分析では、まずTIC法（Total Ion Current Chromatogram）により有機物質の定性を行った。本法では、分子量が約1,000程度以下の全ての有機物質に感度を有するため、数10ppm程度の有機物質が存在すれば、定性が可能である。本分析では、高濃度の単一の特定物質の存在は認められなかったが、クロマトグラムのベースラインを押し上げている何らかの有機物質の存在が確認された。これらを、日本にて入手したナフテン酸の標準試料を同一の方法で分析した結果と比較したところ、保持時間は若干異なるものの、類似のマスペクトルが得られた。また、ピークのパターンも類似のものが得られた。また、SIM法（Selected Ion Monitoring）により、パラフィン類、ナフテン酸類、フェノール類および脂肪酸類について定量を行ったところ、パラフィン類、フェノール類および脂肪酸類については、1mg/lあるいはそれ以下の濃度の存在が認められたのみであった。これに対し、ナフテン酸類は約15ないし60mg/lの存在が認められた。

11. 上記の同一試料について、N-ヘキサン抽出法による重量法、あるいは四塩化炭素抽出-赤外線吸収法による油分分析結果とGC/MS法による分析結果を比較すると、N-ヘキサン抽出法、赤外線吸収法がやや高い値を示す傾向はあるものの、同一オーダーの値を示している。これらの分析では、分析方法が異なること、ナフテン酸の標準が絶対的なものではないこと、GC/MS法では大きなピークを一つのピークと見なしていること等を考慮すれば、以上の結果はそれほど大きな差ではないと言える。従って、N-ヘキサ

ン抽出法、赤外線吸収法で定量された物質の大部分はナフテン酸あるいはナフテン酸の誘導体であると考えられる。

- 1 2. ナフテン酸の誘導体は、原油の二次回収時に油井へ圧入した高温のスチームにより、原油中のナフテン酸と地層水中のナトリウム、カリウム等の塩類が結びついて生成したものと考えられる。シクロペンタンの場合について示すと次の様である。



- 1 3. このナフテン酸の誘導体は水溶性であり、また、界面活性剤の性質を有しているため、原油エマルジョンを油水分離した後の水相のO/W型エマルジョンを安定化させる原因となっているものと考えられる。サーマル油田の分離水のO/W型エマルジョンが高油分濃度であるにも拘らず、極めて安定である原因は、このナフテン酸の誘導体によるものと考えられる。また、このO/W型エマルジョンが酸の添加によりエマルジョンが破壊されることは、酸の添加により界面活性剤すなわち、ナフテン酸誘導体の解離が抑制されるためと考えられる。ナフテン酸の誘導体は水溶性であるため、加圧浮上法では除去できず、加圧浮上処理後も油分として検出されることとなる。従って、この様な成分を含む水の処理には、加圧浮上後、更に活性炭処理等の高度処理を行う必要がある。

- 1 4. 以上を要約すると以下のようである。

- ・含水原油の油水分離後の分離水であるO/W型エマルジョンを破壊するためのREBは、いくつかの無機および有機の凝集剤でかなりの効

果が確認された。本計画では、硫酸アルミニウム（明礬）を無機凝集剤として、有機凝集剤としては高分子凝集剤を使用する。

- ・ サーマルの油田では、圧入したスチームにより、原油中のナフテン酸と地層中のナトリウム、カリウム等の塩が反応し、ナフテン酸の塩が生成しているものと推察できる。このナフテン酸の塩は、界面活性剤としてエマルジョンの安定化を助けている。また、水溶性であるために、加圧浮上法では完全に除去は出来ないが、フレオン、N-ヘキサン等の溶剤に抽出されて油分として検出される。従って、このエマルジョンを処理し、処理後の油分濃度を目標値の50 mg/l以下とするためには、加圧浮上処理のみでは不十分であり、さらに活性炭処理等の高度処理が必要である。
- ・ 水と油の比率が30対70程度のW/O型エマルジョンは、薬剤使用によっても、通常的环境では水と油に分離しない。これらはスロップ、境界エマルジョンあるいは中間層エマルジョンと呼ばれており、処理、廃棄の困難なエマルジョンである。これらの中のある部分は未処理のまま放出され、最終的に環境汚染を引き起こしている。このエマルジョンの処理法としては、焼却以外は無いと考えられる。

5-2 廃棄物

現在トリニダード・トバゴにおいて、石油汚染を引き起こしている含油廃棄物は：(1) 状況に応じスロップ油あるいはスラッジと呼ばれているもの、(2) タンクおよびオイルセパレーターの清掃時に回収されるスラッジ、(3) 廃潤滑油、の3種類であるが、加圧浮上装置の稼働により、これら3種類に加え、油を含んだスカムが新たに発生する。

適切な処理方法が無い状況のため、油中水滴型のエマルジョンである大量のスロップ油が施設の周囲へ放出されている。調査団は、このスロップ油を廃棄物処理センターで焼却処理することを提案している。本調査団の求めに応じ、

Trinidad Cement Limited(TCL)は、スロップ油をセメント製造用の燃料として使用することの可能性についての検討を開始した。このことが、可能との結論を得た場合には、この方法はスロップ油の処理方法として理想的なものになると考えられる。

現在、タンク・オイルセパレータの清掃時に生じるスラッジは、アーサンピットに貯めているが、これがピットから流出し、環境汚染の原因となっている。調査団は、このスラッジ処理は、現在Petrotrin が進めている生物処理法により処理することを提案する。更に潤滑油については、調査団は、現在実施中の国家的な規模での回収と再生計画を、全国的に拡充することが最善の方法であると考えられる。

加圧浮上装置の稼働によりスカムが発生するが、調査団は、このスカムを脱水後焼却処理することを提案している。また、TCL は、このスカムをセメントの原料として使用することを検討中である。これが可能との結論を得るならば、この方法はスカムの処理方法として優れた方法であると考えられる。

第6章 気候状況の石油汚染への影響

表6-1の結果は、ピーク流量に対して、全てのキャッチ・ダムの能力が不足しており、また、ほとんどの河川断面あるいはパツフルの流下能力も不足していることを示している。従って、キャッチに浮遊している油は、豪雨時には下流に流出する。キャッチ・ダムは、豪雨時には、本来の目的である浮上油の流出防止に役立っていないが、調査団はキャッチ・ダムの見直し・改修は不要であると考ええる。むしろ、石油汚染対策の策定に当たっては、雨水の処理施設への流入による負荷変動を吸収する設計を行うのではなく、含油排水と雨水を適切な方法で分離し、気象条件あるいは天候の影響を受けない設計を行うことが望ましい。従って、調査団は、根本対策とはならない、キャッチおよびダムによる油回収を止めることを推奨する。

最も重要なことは、公共水域に流出した油をせき止めるキャッチやダムの容量を検討する前に、公共水域への油の流出を止める必要がある。第2に、浮上油の捕獲を目的に設計されているキャッチやダムは、原油生産時に生成する原油エマルジョンには全く効果が無い。エマルジョンは、トリニダッド・トバゴにおける調査対象地域で最も深刻な石油汚染源であり、石油生産設備から公共水域に放流され、キャッチやダムを通り抜けて海へ流入している。

調査団が推薦する本計画のプロジェクトスキームは、浮上油の公共水域への流入を防ぐと共に、排水中の油分を、浮上油・エマルジョン・溶解油の合計で、50 ppm以下にすることが可能な対策となっている。この対策を実施した後は、通常の操業が行われる限りにおいては、キャッチやダムには浮上油は存在しない。キャッチやダムに浮上油が認められるのは、緊急時等、特別の場合のみである。緊急時に対応する要員と機器を用意し、緊急時には、流失した油を早急に回収すべきである。

Pointe-a-Pierre 製油所では、No.1 API セパレーターのみは、ピーク流量を上回る通水能力を有している。

No. 2 A P I セパレーターの場合、流入水路の能力が不足し、豪雨時にはオーバーフローが発生する。従って、オーバーフローを防止するためには、流入水の一部を他へ送るため、適切な断面を持つバイパスの設置が必要である。

No. 3 A P I セパレーターの流入水路の能力はピーク流量の50%しかない。水路断面積の拡大と適当なバイパスにより問題が解決される、しかし、ピーク流量を考慮すると、雨水と含油排水の分離が、根本的な解決策として、最適な選択である。

オイルストックサンプについては、ピーク流量が大きいこと以外に、サンプの位置が低いことも大きな問題である。大きな断面の流入水路を設置しても位置を高くしないかぎり問題の完全な解決にはならない。従って、オイルサンプの土手の高さを上げることおよび水路断面の拡大を提案する。

表 6 - 1 に計算結果を要約する。

Table 6-1 Results of the Calculations

Item	Peak runoff m ³ /s	Oil-catches		Remarks
		Capacity m ³ /s		
		River	Baffle	
Techier	25.96	20.23	3.50	Neither river cross sections nor baffle sections are capable of carrying peak runoff volumes.
F20	5.50	0.134	0.902	Same as above
TB33	26.38	29.64	1.972	River cross section is capable of carrying the peak runoff volume but the baffle is not.
Vance	17.0	53.29	5.648	Same as above
Cocoa	36.25	--	16.159	The baffle does not have enough capacity to carry peak runoff volume.
Arrow-head	40.30	--	34.74	Same as above
John	17.72	28.143	10.236	River cross section is capable of

carrying the peak runoff volume but the baffle is not.

TRINMAR	1.29	0.12	0.075	Channel does not have enough capacity for peak runoff volume.
		(Flow over weir)		

API Separators

Item	Peak runoff m ³ /s	Inlet channel Cap. m ³ /s	Remarks
No. 1	4.20	5.511	The separator has enough capacity to carry the peak runoff volume.
No. 2	3.89	1.45	The separator is not capable of carrying the peak runoff volume.
No. 3	7.56	3.931	Same as above
Oil stock sump	9.78	5.74	Same as above

第7章 プロジェクトスキーム

本章ではプロジェクトスキームについて述べる。プロジェクトスキームの定義は、前章までに説明した成果を踏まえて、油分濃度50ppmの目標値を達成するための、新設設備の建設および既存設備の改修のための最も経済的且つ効果的な方法の提案と云える。このプロジェクトスキームの決定のためには、第4章にて詳述した問題点に関する議論およびメインレポートの第19章に述べた実験結果が特に有用である。

プロジェクトスキームの決定は、1994年の7月から8月にかけて実施した第3次現地調査の最重要目的であった。調査団は、ポートオブスペイン到着以前に中間報告書を提出し、現地調査期間中に、カウンターパートと中間報告書について討議を行った。特に第18章の「石油汚染および汚染対策の問題点」については、十分な討議を行った。また、第3次現地調査時には、種々の問題点、全体計画あるいはプロジェクトスキームについてカウンターパートと数度に亙り論議を行った。第3次現地調査の最後に、調査団はプログレスレポートを提出し、この中において、他の事項と共にプロジェクトスキームについて説明し、カウンターパートとの間に合意を得た。

Pointe-a-Pierre製油所の処理水量を、その後の詳細な検討により、プログレスレポート時の毎時200立方メートルから毎時250立方メートルに変更したことを除き、プロジェクトスキームの内容は、基本的にプログレスレポート時と同じである。

7-1 50ppm 目標値の定義

50ppmの目標値は、石油設備の排水に溶解している純粋な炭化水素の濃度ではなく、ASTM D-4281のフレオン抽出法により測定された1リットル中の油分を意味している。ASTM法により表された油分濃度は、フレオンに可溶性の純粋な炭化水素以外の物質をも含む。従って、低減目標値として、排水中の純粋な炭化水素の

濃度として50ppm 以下が要求されるのであれば、Bernstein タンクファームにおける加圧浮上装置下流に設置予定の活性炭吸着設備は不要となる事も有り得る。この様な意味から、油分濃度の定義はプロジェクトスキームの決定に当たって極めて重要な意味を有する。

7-2 Pointe-a-Pierre 製油所における排水処理

Pointe-a-Pierre 製油所における排水処理の特徴は次の通りである。

1. 原則として、含油排水と非含油排水を分離する。しかしながら、調査団が現地で行った調査により、いくつかの既設設備に関しては、含油排水系統に雨水が流入することが避けられないことが明らかとなった。従って、排水処理設備は多少の雨水の混ざった排水を処理することとなり、このため、設備容量は、想定した含油排水量の場合よりも僅かではあるが大きくなる。
2. アップグレーディング計画後の含油排水量は、1時間当たり250 トンと推定されている。この数値には、潤滑油原料用の減圧蒸留装置でのバロメトリックコンデンサーからの排水は含まれていない。この排水量のみでも1時間当たり200 トンを越えるものと見積もられ、排水処理設備に大きな負担をかけることになる。このため、プロジェクトスキームではこれらのバロメトリックコンデンサーをサーフェスコンデンサーに転換することとした。
3. 含油排水は発生源毎に収集され、オイリー排水用およびケミカルオイリー排水用の2本の地上配管により排水処理設備へ送られ、一括して処理される。また、排水の収集、貯蔵、移送のために、必要に応じてピットおよびポンプを設置する。含油排水に分類される排水としては、タンクブリード水、脱塩装置排水、蒸留塔の塔頂凝縮水、ポンプパッキン箱からの漏洩油を含む同部の冷却水、プロセス設備からの分離水、エリア内のスピルウオ

ールにて収集された水、等である。また、非含油排水として分類される水は、雨水、クーラーおよびコンデンサーの冷却水、冷却塔の排水、等である。

4. 排水処理設備は、4基のバッファータンク、1基のC P I、1基の加圧浮上装置より成り、油分濃度の目標値である月間平均値50ppm、日量最大値75ppmを達成可能なように設計される。ポンプおよびその他の主要機器に関しては、スペアを設置し、また補修用スペアパーツを常備しておきトラブル時に備える。しかしながら、他にもう一つ別の系統の設備を予備として設置し、全系統が停止した場合に備えることに関しては、その可能性が極めて小さいため行わない。
5. オイルサンプ、A P Iセパレーターおよびガードベースンの既設排水処理設備は、非含油排水処理のために使用する。非含油排水系統では、含油排水系統と分離された後、非含油排水によって、しばらくの間は設備内に溜まっていた油を洗い流すこととなるが、最終的には、油分は無くなる。

6. 排水処理設備の基本設計条件は次の通りである。

(1) 排水量	250 m ³ /Hr
(2) C P I入口油分濃度	500 mg/Liter
(3) D A F入口油分濃度	400 mg/Liter
(4) D A F出口油分濃度	50 mg/Liter以下
(5) 出口油分濃度	50 mg/Liter以下

(注) D A F : 加圧浮上装置

7-3 Bernstein タンクファームにおける排水処理

S/Wでは、Bernstein タンクファームは、調査対象地域において、生産設備の全ての特徴を備えた代表的な生産設備であると示されている。Bernstein タンクファームにおける排水処理設備は以下の通りである。

1. 排水処理設備は、一系列の加圧浮上装置および二系列の活性炭吸着設備より成る。全系列が全て停止する可能性は極めて小さいため、予備のため別系列の処理設備を設けることはしない。
2. 排水処理設備の容量は、1時間当たり400立方メートルとする。
3. Los Bajos タンクファームの排水を、8インチ配管にて12Km離れたBernstein タンクファームまで移送する。
4. Bernstein タンクファームにおける排水処理設備の基本設計条件は次の通りである。

(1) 排水量	400 m ³ /Hr
(2) 入口油分濃度	1.675 mg/Liter
(3) A C A 出口油分濃度	50 mg/Liter以下

(注) A C A : 活性炭吸着設備

7-4 ダムおよびキャッチ

ダムおよびキャッチに関しては、第4章に述べた理由により、雨水に対処してその容量をアップすることはない。

7-5 廃棄物処理センター

Pinte-a-Pierre製油所内およびBernstein タンクファーム内にそれぞれ1つ、合わせて2つの廃棄物処理センターを設置する。これらの廃棄物処理センターは、両者共に、Trinidad Cement Limited (TCL) が中間層エマルジョンおよびスカムの両方、あるいはいずれかを引き取るか否かにより、その規模、配置が異なってくる。TCLの決定がいずれになるかは未知であるが、本調査では、全ての含油廃棄物を処理することで計画する。

廃棄物処理センターの基本設計条件は次の通りである。

Pointe-a-Pierre 製油所

(1) スカム量	2.0	Ton/Hour
(2) スカム含水率	91	wt%
(3) 中間層エマルジョン量	33	Barrel/Day
(4) 中間層エマルジョン 水/油 比率	35/65	

Bernstein タンクファーム

(1) スカム量	32.2	Ton/Hour
(2) スカム含水率	97.9	wt%
(2) 中間層エマルジョン量	75	Barrel/Day
(3) 中間層エマルジョン 水/油 比率	35/65	

タンクおよびセパレーターからのスラッジに関しては、アーサンピットに投棄するのではなく、Petrotrin が計画している生物処理法により処理されることが計画に当たっての前提条件となる。

7-6 実施スケジュール

各段階がスムーズに実施されるとして、実施スケジュールは次の様に考えられる。現在の石油汚染の状況を考慮すると、各段階は迅速に行う必要がある。

	月
初年度	
1. 本報告書の検討	2
2. 政府承認	3
3. 資金提供者 (Financiers) との交渉	6
4. 資金調達	1
2年度	
5. コンサルタント選定	2
6. 基本設計	4

7. 入札図書の準備	2
8. 入札要請	1
9. 入札評価	1
10. 業者契約	2
3年度	
11. エンジニアリング、設計、建設	12
4年度～	
12. 操業	

テクニカルワークのかなりの部分はPetrotrinにより実施可能であり、これにより、各段階を迅速に実施することが可能と考えられる。

第8章 概念設計

本調査で行った設計は概念設計であるが、プロセス装置の詳細設計の場合と同様の手法で、まず物質および熱収支計算を行い、続いてプロセス仕様の決定、機器仕様の決定、建設、据付け検討、等を行うと云った、広く行われている標準的な手順に拠った。

8-1 物質収支

8-1-1 前提条件

(1) Pointe-a-Pierre 製油所

1. 雨水排水系を油排水系から分離した後の含油排水の流量は 250 Kl/Hr (37,736 barrels per day)とする。この中には酸・アルカリなどを含んだ含油排水が含まれている。含油排水中の油分は 3,000 ppmとする。
2. 排水処理設備の各ポイントにおける油分はそれぞれ下記の通りとする。

CPI入り口の油分	:	500 ppm
加圧浮上装置入り口の油分	:	400 ppm
3. 無機凝集剤 Alum の添加量は、加圧浮上装置入り口の油分の3.5倍量とする。
4. 実験の結果から、スカムの発生量は 0.013 Kl/ Kl-含油排水とする。
5. 実験の結果から、スカムの密度は 0.62 g/mlとする。
6. したがって、含油排水当たりのスカムの重量は次のようになる。
$$0.62(\text{g/ml}) \times 0.013(\text{kl/kl}) = 8 \text{ Kg/ Kl-含油排水}$$
7. バッファータンク、CPIなどから浮上油を回収する際には、油の50%相当の水が同伴するものとする。また、浮上油の20%がエマルジョンになるものとする。そしてこのエマルジョンはその中に35%の水を含むものとする。
8. スカム中の固形分は、添加した Alum($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$)が $\text{Al}(\text{OH})_3$ となって存在するものと、スカムの中に捕捉された油分から構成される。

9. 真空濾過機で脱水されてケーキ状になったスカムの含水率を70%とする。

(2) Bernsteinタンクファーム

1. Bernstein タンクファームからの排水量を 220 Kl/Hr(33,500 Barrels per day)また油分を 8,496 ppmとする。ただし、排水量はその中に将来の増強プロジェクトで増加する排水量を見込んである。

2. Los Bajos タンクファームからの排水量を 180 Kl/Hr(26,500 Barrels per day)また油分を 282 ppmとする。

3. 排水処理設備の各ポイントにおける油分はそれぞれ下記の通りとする。

Los Bajos API 出口	: 270 ppm
スキマーピット出口	: 3,000 ppm
オイルセパレーター出口	: 1,500 ppm
加圧浮上装置入り口の油分	: 1,000 ppm

4. 無機凝集剤 Alum の添加量は、加圧浮上装置入り口の油分の3.5倍量とする。

5. 実験の結果から、スカムの発生量は 0.13 Kl/Kl-含油排水とする。

6. 実験の結果から、スカムの密度は 0.62 g/mlとする。

7. したがって、含油排水当たりのスカムの重量は次のようになる。

$$0.62(\text{g/ml}) \times 0.13(\text{kl/kl}) = 81 \text{ Kg/ Kl-含油排水}$$

8. スキマーピット、オイルセパレーター、C P I などから浮上油を回収する際には、油の50%相当の水が同伴するものとする。また、浮上油の20%がエマルジョンになるものとする。そしてこのエマルジョンはその中に35%の水を含むものとする。

9. スカム中の固形分は、添加した Alum($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$)が $\text{Al}(\text{OH})_3$ となって存在するものと、スカムの中に捕捉された油分から構成される。

10. 真空濾過機で脱水されてケーキ状になったスカムの含水率を70%とする。

8-2 概念設計の条件

8-2-1 Pointe-a-Pierre 製油所

(1) 排水処理設備改善の全般的な考え方

1) 全般的な考え方

Pointe-a-Pierre 製油所建設時の排水処理設備に対する考え方は、雨水と含油排水の分離を行わず、これらを一括して共通の排水路、API、ガードベースンで処理するものである。現在アップグレードプロジェクトの一環として、雨水の含油排水からの仕分けが、主にタンクヤードについて実施されつつあるが、プロセスヤードについてはほとんど無対策である。

重力浮上式排水処理設備しかない現状において、いかに雨水を分離しても、排水中の油分は150ppmを達成するのがようやくであり、今回のターゲットである50ppmの達成は不可能である。われわれが現地で行った実験の結果によれば、加圧浮上装置を導入することにより、製油所の排水について50ppmを達成できることが判明しており、新しく、加圧浮上装置を中心とする一連の排水処理設備を新設する事が必要となる。

これらの新設設備を、所定の性能通りに運転するためには、流量を設計以内でかつ安定させる事が必要であり、そのためには、含油排水を雨水より完全に分離する事が必要になる。将来のCOD規制を考慮すれば、ソーダ・アミン等を含むケミカル排水も含油排水から分離しておく必要がある。

また、主に加圧浮上装置から発生するスカムを処理するために、スカムの脱水設備及び焼却設備が新たに必要となる。Trinidad Cement Limited(TCL)にて脱水スカム(ケーキ)を焼却する検討が進行中である。これが実行可能となれば、本計画から焼却炉を削除することが可能となる。しかし結論未定であるため、本計画では焼却炉を含む廃棄物処理センターを製油所内に設置することとする。

1. オイリー排水およびケミカルオイリー排水それぞれについてバッファータンクを設け、バッファ機能をもたせると同時に排水処理設備に対する流量の均一化を図る。
2. バッファータンクの後段に一連の排水処理設備を新設する。新設する排水処理設備は、C P I、加圧浮上設備、ガードベースンおよびこれらの付帯設備である。
3. 製油所内を縦貫して、オイリー排水およびケミカルオイリー排水用の排水主配管を設置する。これらの配管は、既設の地上配管ラックを利用して布設する。
4. 各プロセス装置に、オイリー排水および必要によりケミカルオイリー排水用のピットを設け、これに装置内のオイリー排水、ケミカルオイリー排水を導入する。これらの排水に雨水が混入しないよう、装置内の油で汚れる部分をスピルウオールで囲み、オイリー排水に接続する。
5. 装置内ピットには液面制御自動ポンプを設け、吐出を排水主配管に接続して、ピット内液面を一定に保つよう、装置内オイリー排水、ケミカルオイリー排水をバッファータンクに移送する。
6. タンクのブリード水は、全面的にクローズドブリード方式を採用する。この方式は既にPointe-a-Pierre 製油所で実績があり、ブリードの前後に検尺を行い、カラーカットベストによる水位の確認を行うものである。タンクを地域によっていくつかのグループに分け、各グループ内で、各タンクのブリード弁出口を連結し、グループ内に設けたピットに接続する。ピットには液面制御自動ポンプを設け、吐出を排水主配管に接続して、ピット内液面を一定に保つよう、オイリー排水をバッファータンクに移送する。
7. 廃棄物処理センターは、スカム移送設備、脱水設備、ケーキ移送設備、焼却炉、焼却灰仮貯蔵設備等よりなる。
8. 製油所は現在、アップグレーディングプロジェクトの一環として、計装の近代化を進めている。具体的には、集中計器室を新設し、既設計装のD C S (Distributed Control System) への転換を行って製油所全体の運転監視を新しい集中計器室より行うものである。
Petrotrin の要請により、新設される廃水処理設備も、この集中計器室より必要な運転管理が行えるようにする。

廃水処理設備の計装のうち、DCSを用いて集中計器室に運転監視機能を集約する対象は下記の考えによる。

新設される廃棄物処理センターのうち、焼却炉の運転は安全上の観点から、常時現場運転員によって行われる必要があり、現場無人による集中計器室からの遠隔運転は難しい。また、加圧浮上設備についても、薬剤の調整その他で現場運転員が必要である。常時2名の運転員が新設廃水処理設備の現場に常駐し必要な現場運転管理を行う。中央計器室に取り込む計装は以下とする。

1. バッファータンク回り

各バッファータンクの液面指示計および出口水の流量指示制御計

2. 液面制御自動ポンプのサクションピット液面高警報

装置ヤード：計14ヶ所

タンクヤード：計16ヶ所

バッファータンク、CPI、ガードベースン：計3ヶ所

3. 加圧浮上装置回り

原水および加圧水の流量指示制御計

加圧水タンクの圧力指示計

原水槽、スカム槽、ALUMおよびポリマー注入槽の液面警報

DCS化する計装の信号は、付近のサテライトセンターまでケーブルを用いて配線する。サテライトセンターより集中計器室まではアップグレーディング計画で敷設されるDCSハイウェイを利用するものとし、DCSハイウェイおよび集中計器室内のDCS機器は本プロジェクトには含めない。

2) 廃水処理設備の信頼性

廃水処理設備は基本的に1系列しか設置しない。一方、公共水域に排出される排水中の油分月間平均値50ppm、日最高値75ppmを守ることは至上命題である。装置・設備の故障を考慮して、頻度の高いと予想される機器にはスペアを設置する。また、運転面で下記の対策を講じる。

1. バッファータンクの水位を常時低レベルで運転し、排水処理設備異常時に排水をため込む。約2日分の排水貯蔵が可能である。運転管理は、早期に異常を発見し、故障を小規模に止めるようにきめ細かく行い、また、機器の故障に対応し早急に補修する体制を常時確立しておく。
2. 回転機の軸封設備その他、破損し易い部品のスペアを多く保管しておく、

早期の補修が可能であるようにする。

3. C P I 等の清掃も、バッファータンクの貯溜期間に行うよう、計画的に実施する。

(2) 個別設備の設計条件

1) 処理水量

表 8 - 1 に排水処理設備設計の前提条件となる各プロセスからの含油水の流出量を示す。表中、アスタリスク印のついた水量は常時流出するベースロードを示す。

Table 8-1 Estimation of Waste Water Discharges

(Unit: cubic meters per hour)

Processing unit	Throughput (Bls/day)	Petrotrin's estimate (Bls/day)		Design
No. 8 Topping unit*	135,000	6,750	45	40
No. 4 Vacuum distillation unit*	106,000	7,340	49	49
No. 3 Vacuum distillation Unit	18,000	159,000	1,053	30
FCC/GC*	30,000	5,608	37	40
Alkylation unit	3,000	-	-	-
No. 1 Vacuum distillation unit	18,000	39,600	262	30
D3 column*	3,000	4,100	27	30
No. 1 Reformer/Unifiner*	10,000	450	3	5
No. 2 Reformer/Unifiner*	15,000	510	3	5
No. 1 Hydrodesulfurization unit*	20,000	1,950	13	15
New visbreaker*	32,000	850	6	6
New sulfur recovery unit*	180 t/d	920	6	6
No. 2 Hydrodesulfurization unit*	55,000	2,670	18	20

8 - 3 設備設計の仕様

前節にて述べたプロセス仕様に基づき、本節では設備の機器仕様について記す。

8 - 3 - 1 Poite-a-Pierre 製油所

(1) 排水処理システム

表 8 - 2 に Pointe-a-Pierre 製油所における排水処理システムのプロセス仕様をまとめる。

Table 8-2 Process Design Specifications of the Waste Water Treating System at Pointe-a-Pierre Refinery

Fluid flow rates, m ³ /hour		
Total inflow to the buffer tanks		250
Total effluent from the buffer tanks		250
Charge to CPI		250
Charge to DAF		250
Effluent from DAF		250
Inflow to the guard basin		250
Effluent to the Guaracara River		250
Oil and grease content, mg/liter		
Weighted average at the inlet of buffer tanks		3,000
Charge to CPI, ppm		500
Charge to DAF, ppm		400
Effluent from DAF		50 max.
Effluent to the Guaracara River		50 max.
pH value of untreated water, range		7 to 8
pH value of treated water, range		7 to 8

Source: Study team

Note: 1. The amount of oil on the flow rate is negligible.

以下の既存遊休タンク 4 基をバッファータンクへ転用する。

オイリータンク用バッファータンク

NP No. 19	5,000	K1
NP No. 20	4,150	K1
NP No. 21	4,150	K1

25% レベルで運転するとして、Oily Waste Water の追加貯蔵可能時間は、約 1.5 日。

ケミカルオイリー排水用バッファータンク

NP No. 26	3,000	K1
-----------	-------	----

25% レベルで運転するとして、Chemical Oily Waste Water の追加貯蔵可能時間は、約 4.5 日。

製油所内に、オイリー排水用およびケミカルオイリー排水用配管、ピット、ポンプおよびスピルウオールを設置する。これらは、「8-2 概念設計の条件」に示す通りである。

(2) 廃棄物処センター

表8-3にPointe-a-Pierre製油所における廃棄物処理センターのプロセス仕様をまとめる。

Table 8-3 Process Design Specifications of Waste Treatment Center at Pointe-a-Pierre Refinery

Wet scum from DAF	
Production, kilograms/hour	2,000
Water content, weight percent	91
Middle-layer emulsion	
Production, cubic meters/hour	0.2
Calorific value	5,800
Oil content, volume percent	65
Water content, volume percent	35
Dewatering facility	
Feed	Wet scum from DAF
Dewatered scum	
Water, weight percent	70
Oil, weight percent	16
Aluminum hydroxide, weight percent	14
Calorific value, kcal/kilogram	1,200

Source: Study team

(3) 計装

廃棄物処理システムの運転と監視は、製油所の近代化の一環として設置される予定の、光ケーブルによりサテライトセンターと中央監視室が接続される分散型デジタル計装システム(DCS)により行われる予定である。

8-3-2 Bornstein タンクファーム

(1) 排水処理システム

表8-4にBornstein タンクファームにおける排水処理システムのプロセス仕

様をまとめる。

**Table 8-4 Process Design Specifications of the Waste Water Treating System at Bernstein
Main Storage**

Fluid flow rates, m ³ /hour	
Waste water from BMS API Separator	220
Waste water transported from Los Bajos Tank Farm	180
Combined waste water	400
Total inflow to the oil separator	400
Total effluent from the oil separator	400
Charge to CPI	400
Charge to DAF	440
Charge to DAF	440
Charge to ACA	400
Effluent to the Silver Stream River	400
Oil and grease content, mg/liter	
Skimmer Pit outlet	3,000
Oil Separator inlet	1,675
Oil Separator outlet,	1,500
Charge to DAF, ppm	1,000
Effluent from DAF, inlet to ACA	100
Effluent from ACA	50 max.
Effluent to the Silver Stream River	50 max.
pH value of untreated water, range	7 to 8
pH value of treated water, range	7 to 8

Source: Study team

Note: 1. The amount of oil is negligible on the flow rates

容量1,000 K1のスロップタンクを1基設ける。

(2) 廃棄物処理センター

表8-5にBernsteinタンクファームにおける廃棄物処理センターのプロセス仕様をまとめる。

(3) 計装

計装は、現場制御タイプとする。

(4) Los Bajos からBernstein タンクファームへの配管

Los BajosタンクファームからBernsteinタンクファーム間に、排水輸送のための、配管を敷設する。道路沿いに8インチパイプを12Km敷設し、移送ポンプは

Los Bajos タンクファームに設置する。

Table 8-5 Process Design Specifications of Waste Treatment Center at Bernstein Main Storage

Wet scum from DAF		
Production, kilograms/hour		32,200
Water content, weight percent		97.9
Middle-layer emulsion		
Production, cubic meters/hour		0.5
Calorific value		5,800
Oil content, volume percent		65
Water content, volume percent		35
Dewatering facility		
Feed	Wet scum from DAF	
Dewatered scum		
Water, weight percent		70
Oil, weight percent		16
Aluminum hydroxide, oxide, weight percent		14
Calorific value, kcal/kilogram		1,200

Source: Study team

8 - 4 設備の設計

プロセス設計仕様に基づき、個々の設備に関する概念設計を行う。これらに関しては、メインレポートの第21章を参照のこと。

第9章 コスト

9-1 コスト見積の基本方針

本章では、メインレポートの第21章にて述べた設計仕様に基づき、設備の建設費および操業費について述べる。これらの費用は次の方針により算出されたものである。

1. コストは全てトリニダッド・トバゴにおけるコストであり、現地調査時に現地にて収集した情報および、第3次現地調査後Petrotrinより提供された情報に拠って見積もられている。全ての項目についてトリニダッド・トバゴよりも高い日本国内のコストは参考用にのみ使用した。
2. コスト見積は、1994年を基準年とした。
3. USドル対TTドルの交換レートは5.4 TTドル/USドルとした。
4. 各プラントコストは輸入税および付加価値税を含む建設費である。
5. コストの見積は、メインレポートの第21章の概念設計に基づいている。

9-2 建設費

表9-1および表9-2に、Pointe-a-Pierre製油所とBernsteinクックファームの設備の建設費、改造費を示す。

Table 9-1 Installed Cost of Facilities and Modifications at Pointe-a-Pierre Refinery

(Unit: thousand U.S Dollars)

	Civil Works	Equipment	Installation	Total
CPI	45	5	13	63
DAF	120	260	50	430
Guard basin	30	5	10	45
Vacuum filter	20	221	5	246
Incinerator	100	409	172	681
Surface condensers	178	384	142	704
Tanks	40	17	6	63
Pipes	43	284	35	362
Pumps	28	181	19	228
Pits, ditches, spill walls	19	19	7	45
DCS	98	344	68	510
Total	721	2,129	527	3,377

Source: Study team

Table 9-2 Installed Cost of Facilities and Modifications at Bernstein Main Storage

(Unit: thousand U.S Dollars)

	Civil Works	Equipment	Installation	Total
Oil separator	316	4	18	338
CPI	73	5	16	94
DAF	150	325	63	538
ACA unit	680	10,531	732	11,943
Vacuum filter	30	832	5	867
Incinerator	150	1,230	212	1,592
Pipes	40	307	25	372
Pumps, pits	12	86	8	106
Slop tank	120	300	30	450
Total	1,571	13,620	1,109	16,300

Source: Study team

9 - 3 操業費用

操業費用は変動費と固定費より構成され、変動費は設備の稼働率に依って変化する費用であり、固定費は稼働率に依らず一定の費用である。変動費は処理水1立法メートル当たりUSドルで表してある。

固定費は、一般的にメンテナンス費用、保険料、固定資産税、労務費等がこれに含まれる。

9 - 3 - 1 Pointe-a-Pierre 製油所

(1) 変動費

変動費の項目の対象となる設備は、加圧浮上装置、脱水機、焼却炉および排水配管システムである。表9 - 3にPointe-a-Pierre製油所の変動費の合計を示す。

Table 9-3 Total Variable Operation Cost for Pointe-a-Pierre Refinery

(Unit: US Dollars/cubic meter of waste water)

Dissolved air flotation unit	0.097
Vacuum filter	0.002
Incinerator	0.025
Waste water gathering pipeline system	0.014
<hr/>	
Total	0.138
Total, thousand U.S. Dollars/year	302

Source: Study team

(2) 固定費

固定費の内、メンテナンス費用、保険料および固定資産税の合計は建設費の5パーセントとして算出した。労務費については、運転要員数に労務単価TTS4,500/月/人を乗じて算出した。2名ずつの交代制で合計10名により全設備を運転する。

表9 - 4に、Pointe-a-Pierre製油所の設備および改造に関する固定費の合計を示す。

Table 9-4 Total Fixed Operation Cost for Pointe-a-Pierre Refinery

(Unit: thousand US Dollars per year)

	Maintenance Insurance Tax	Labor and Salary	Total
CPI	3.2	N.A.	3.2
DAF unit	23.75	N.A.	23.75
Vacuum filter	12.3	N.A.	12.3
Incinerator	34.05	N.A.	34.05
Gathering system, pumps, surface condenser, pits	70.10	N.A.	70.10
DCS	25.50	N.A.	25.50
Total	169	100	269

Source: Study team

9-3-2 Bernstein タンクファーム

(1) 変動費

変動費の項目の対象となる設備は、加圧浮上装置、活性炭吸着設備、脱水機、焼却炉および排水配管システムである。表9-5にBernstein タンクファームの変動費合計を示す。

Table 9-5 Total Variable Operation Cost for Bernstein Main Storage

(Unit: US Dollars/cubic meter of waste water)

Dissolved air flotation unit	0.227
Activated carbon adsorption unit	0.194
Vacuum filter	0.009
Incinerator	0.039
Waste water gathering pipeline system	0.023
Total	0.492
Total, thousand U.S. Dollars/year	1,724

Source: Study team

(2) 固定費

固定費の内、メンテナンス費用、保険料および固定資産税の合計は建設費の5パーセントとして算出した。労務費については、運転要員数に労務単価TTS4,500/月/人に乗じて算出した。表9-6に、Bernstein タンクファームの設備および改造に関する固定費の合計を示す。

Table 9-6 Total Fixed Operation Cost for Bernstein Main Storage

(Unit: thousand US Dollars per year)

	Maintenance Insurance Tax	Labor and Salary	Total
CPI	21.60	N.A.	21.60
DAF unit	26.90	N.A.	26.90
ACA unit	597.15	N.A.	597.17
Vacuum filter	43.35	N.A.	43.35
Incinerator	79.6	N.A.	79.6
Pipes, pumps, pits slop tank	46.40	N.A.	46.40
Total	815	100	915

Source: Study team

9-4 その他の費用

設備および操業を拡張する場合には、通常、予測不能の経費が生じる。これらは、電話回数、事務および管理業務・部署の労務費、保険料、事務用品の消費の増加等であり、まとめて「オーバーヘッド」と云われているものである。プロセスプラントの拡張の場合では、オーバーヘッドは通常労務費の50パーセントとされており、本プロジェクトの経済性評価においてもこのオーバーヘッドを考慮する。

9-5 基本設計および建設業者選定のためのコンサルタントフィー

排水処理設備と廃棄物処理センターのエンジニアリングおよび建設のための契

約を締結する前に、トリニダッド・トバゴ国政府は、基本設計、入札図書の作成、入札の実施、落札候補者との交渉および業者決定のために、コンサルタントを雇う必要があると考えられる。コンサルタントフィーは、これらの業務を政府自身でどこまでやるか、あるいは、ランブサム契約かコストプラスフィー契約で実施するかにより、大きく変化する。調査団は、このコンサルタントフィーとして、トリニダッド・トバゴ国政府は最小限の技術関連業務のみ行い、且つランブサム契約で実施するものとして、1994年価格で350,000米ドルと見積もった。但し、この価格には、設計、建設のための監督・管理業務は含まれていない。

第10章 評価

本章では、経済的費用便益の観点に立って、提案した計画により、50ppm の目標値を達成するための評価を行う。

10-1 前提条件

計画評価のための前提条件としては、カウンターパートと調査団が合意し、かつ第3次現地調査のプログレスレポートにも記されている以下の事項を用いる。

1. プロジェクト年数	20 年
2. Social discount rate	10 %/年
3. 資金源	100% ローン
4. 金利	5.0 %/年
5. 返済	元金の10%/年
6. 建設期間	1 年
7. 操業年数	19 年
8. Shadow price factor	使用しない

10-2 総所要資金

10-2-1 建設費

建設費は第9章に述べた次の数値である。

	単位： 1,000 USドル
Pointe-a-Pierre 製油所	3,377
Bernstein タンクファーム	16,300
建設費合計	19,677

10-2-2 総所要資金の計算

表10-1にPointe-a-Pierre 製油所およびBernstein タンクファームにおける本計画の総所要資金を示す。

Table 10-1 Total Capital Requirements

(Unit: thousand U.S. Dollars)

1. Plant cost

	Plant cost	IDC	Pre-operation cost	Total capital req'ment
Pointe-a-Pierre Refinery	3,377	84	10	3,471
Bernstein Main Storage	16,300	408	10	16,718
Total	19,677	492	20	20,189

- Note: 1. IDC stands for interest during construction. IDC's are 0.5 years' interests on the loan for the plant costs plus calculated
 2. Pre-operation costs are assumed to be 10 percent of annual salary and labor.

2. Consultancy fee

	Consul-tancy fee	IDC	Pre-operation cost	Total capital req'ment
Pointe-a-Pierre Refinery	60	4.5	N.A.	64
Bernstein Main Storage	290	22	N.A.	312
Total	350	26	N.A.	376

- Note: 1. The consultancy fee is prorated to Pointe-a-Pierre Refinery and Bernstein Main Storage according to the plant costs.
 2. IDC's are 1.5 years' interests.

3. Total cost

	Plant cost	IDC	Pre-operation cost	Total capital req'ment
Pointe-a-Pierre Refinery	3,437	88	10	3,535
Bernstein Main Storage	16,590	430	10	17,030
Total	20,027	518	20	20,565

10-3 運転資金

運転開始前に、建設費の1パーセントに相当するスペアパーツおよび消耗品の内、ディーゼル油を除いたその年間消費量の25パーセント相当量を購入するものとする。表10-2に運転資金の計算結果を示す。

Table 10-2 Working Capital

(Unit: thousand U.S. Dollars)

Pointe-a-Pierre Refinery	
Spareparts	35
Consumables	
Aluminum sulfate	46
Polymer flocculant	3

Total	94

Bernstein Main Storage	
Spareparts	170
Consumables	
Aluminum sulfate	198
Polymer flocculant	11
Nitrogen	5
HCl	Negligible
NaOH	1
Activated carbon	105

Total	490

Total	584

10-4 経済コスト

10-4-1 初期経済コスト

第9章ではプラントコストについて述べた。また、上記では総所要資金および運転資金の計算結果を示した。これらは財務コストではあるが経済コストではなく、投資計画においてはこの二つは厳密に区別される。通常、最初に財務コストを計算し、その後で、他に転化出来るコスト項目を財務コストから減じて経済コ

コストを計算する。コストは物的あるいは人的な資材量を金額でもって示したものである。他に転化出来るコストとは、投資計画において、支払われはするが、実際には消費されないコスト、すなわち、同一国内において、一つの投資計画から他の部門へと移るコストのことである。本調査においては、石油部門から他の政府部門へ移る税金および関税がこれに当たる。

表9-1および表9-2に示した設備費は、約15パーセントの税金と15パーセントの付加価値税（VAT）を含んでいる。従って、設備費の経済コストは、設備費の財務コストから税金、VAT相当額を減ずるか、或いは1.30で除すことにより得られる。同様に、土木工事費および据付費は、15パーセントのVATを含むことにより、その財務コストからVAT相当額を減ずるか、1.15で除すことにより経済コストが得られる。コンサルタントフィーに関しては、経済コストと財務コストは等しい。運転資金に関しては、運転が輸入品により行われることにより、前述の運転資金を同様に1.30で除すことでその経済コストが得られる。表10-3に初期経済コストをまとめる。

Table 10-3 Economic Costs of the Program

(Unit: thousand U.S. Dollars)

Installed cost	
Pointe-a-Pierre Refinery	2,723
Bernstein Main Storage	12,807

Total	15,530

Consultancy fee	
Pointe-a-Pierre Refinery	60
Bernstein Main Storage	290

Total	350

IDC	
Plant cost	
Pointe-a-Pierre Refinery	68
Bernstein Main Storage	320

Total	388

Consultancy fee	
Pointe-a-Pierre Refinery	4
Bernstein Main Storage	22

Total	26
Pre-operation cost	
Pointe-a-Pierre Refinery	10
Bernstein Main Storage	10
Total	20
Working capital	
Pointe-a-Pierre Refinery	72
Bernstein Main Storage	377
Total	449

Source: Study team

10-4-2 経済操業費

経済操業費は、他に転化出来るコストを財務操業費から減じることにより得られる。表10-4に経済操業費をまとめる。

Table 10-4 Economic Operation Costs

(Unit: thousand U.S. Dollars per year)

Pointe-a-Pierre Refinery	
Variable operation cost	263
Fixed operation cost	230
Total operation cost	493
Bernstein Main Storage	
Variable operation cost	1,499
Fixed operation cost	727
Total operation cost	2,226
Total	
Variable operation cost	1,762
Total fixed cost	957
Total	2,719

Source: Study team

- Note: 1. Economic variable operation costs are obtained by dividing the financial variable operation costs by 1.15.
 2. Economic fixed operation costs are obtained by dividing the financial MIT cost by 1.3 plus financial labor and salary cost.

10-5 経済的負担額

上記の数値を用いて原油1バレル当たりの排水処理費用を計算すると、Pointe-a-Pierre 製油所、Bernstein タンクファームおよびこれらを併せたものについて、それぞれ、0.04米ドル、0.35米ドルおよび0.22米ドルとなった。年間の負担総額は、4,769,000 米ドルである。

10-6 経済的負担額の評価

石油汚染の深刻さおよびこれを50ppm 以下にすることを緊急性を考慮すると、年間負担額4,769,000 米ドル、或いはバレル当たりの処理費0.22米ドルは、以下の理由により妥当であると考えられる。

10-6-1 経済的負担額の意味

排水処理費用として、年間当たり経済的負担額4,769,000 米ドルは、トリニダッド・トバゴの種々の経済指標の中で、次のように位置付けられる。

GDPの0.13パーセント； GDPは約 $20,000 \times 10^6$ T T ドル。

GDPに対する石油部門の寄与率の0.54パーセント； GDPに対する石油部門の寄与率は約25パーセント。

国家歳入の0.45パーセント； 国家歳入は約 $6,000 \times 10^6$ T T ドル。

年間一人当たり4.00米ドル； トリニダッド・トバゴの人口は124 万人。1人当たりのGDP 3,043 米ドルの0.13パーセントに相当。

輸出収入の0.38パーセント； 輸出収入は約 $7,000 \times 10^6$ T T ドル。

原油および石油製品輸出収入の0.58パーセント； 原油および石油製品輸出による収入は、全輸出収入額の約65パーセント

現在の石油汚染の深刻さを考慮するならば、50ppm の目標値の達成なくしては陸上油田の存続は有り得ない。問題は、何としてでもこの負担額を受け入れるか、或いは陸上油田の生産を停止するかである。1バレル当たり0.22米ドルの僅か

な負担額で、陸上油田の生産停止と云う事態は避けられる。排水処理設備費用の資金としては、原油および石油製品の輸出収入が最も適していると考えられる。汚染防止およびその管理のために、石油部門が負担する輸出収入の0.58パーセントと云う数値は、さほど大きな数字ではなく、この僅かな費用増加により世界石油市場におけるトリニダッド・トバゴの競争力が損なわれる心配はない。

10-6-2 経済コストと原油の経済価値

Bernstein タンクファームの原油の経済価値を計算し、1バレル当たり0.22米ドルの経済的処理費用と比較してみる。Bernstein タンクファームの設備は古く、減価償却は終了しているため、原油の経済的費用の大部分は、生産に使用される蒸気であると考えられる。蒸気発生にのみ水が使用されるとした場合、1トン当たり、あるいは6.3バレル当たりの原油に2トンの蒸気が消費される。(日量30,000バレルの原油生産に対し、400トン/Hrの蒸気を消費)2トンの蒸気発生には、原油1バレル相当の熱量が消費される。言い替えると、原油6.3バレルを生産するために、1バレルの原油が消費されることになる。実際には、余剰の同伴ガスが蒸気発生のため用いられるが、同伴ガスもその発熱量に応じた、言い替えると、原油1バレルに相当する固有の経済的価値を有するものである。原油の経済価格を、同質のベネズエラ原油の一般に公表されている1バレル当たり12米ドルとすると、1バレルの原油生産のための蒸気の経済価格は1.90米ドルとなる。原油生産のために必要な電力費、人件費、メンテナンス費等は、蒸気の経済的費用に比べて安く、これらの全てを合わせても、陸上油田の場合、1バレル当たり高々2米ドル程度と考えられる。従って、Bernstein タンクファームへ送油されてくる原油は、1バレル当たり約4米ドルの経済コストを要し、12米ドルの経済価値を持つと考えられる。即ち、これらの原油は、1バレル当たりの生産に対して、8米ドルの経済的価値を生み出している、と言える。これらを考慮すれば、石油部門が1バレル当たり0.35米ドルの経済的負担額の増加に耐えられないことはない、と考えられる。

10-6-3 石油製品の消費者価格への影響

石油製品の小売り価格を高くして、経済的負担額を全額国内の消費者へ転化させるのは良い方法とは言えない。汚染の防止および管理の費用に関しては、当該の工業がそれに係わる費用を商品に含ませてエンドユーザーに転化するのが普通である。しかしながら、トリニダッド・トバゴにおいては、原油生産量の約十分の一にあたる年間約5百万バレルの原油が国内消費されているのみで、大部分の原油および石油製品は輸出されていると云う特殊事情がある。もしも、排水処理の経済的負担費である4,769,000米ドルを国内消費者に転化すれば、全ての石油製品に対して1リットル当たり平均0.033TTドル付加されることとなる。この数字は、現在の1リットル当たり約0.4ないし0.5TTドルの平均小売価格に付加するには大きすぎると考えられる。

10-6-4 他の国での例

1979年に開催された第10回世界石油会議は、排水の規制値を更に厳しくすべきと云う石油工業会の趨勢を示していると考えられる。最も信頼出来る情報源の一つであるアメリカ石油協会は、更に厳しい規制が予想される排水処理基準に適合するための排水処理コストとして、1985年基準価格にて、1バレル当たり年間0.29ないし0.39米ドルと見積り、世界石油会議に提出している。

1994年基準価格で1バレル当たり0.22米ドルと云う本計画の処理費用は、上記の数値と十分に比較し得るものである。

10-7 社会経済的便益

本計画の実施によりもたらされる社会経済的便益は極めて多岐に亘るが、定量化され得ない性質のものである。以下に予想される便益を記す。

1. 農業および漁業への便益

2. 健康被害の低減
3. 石油部門への好ましい状況
4. 事業の活性化と新技術の導入
5. 環境保護に対する公共意識
6. 生物種の保護

10-8 便益と費用

費用は定量的に示されるのに対し、本調査の便益は定性的にのみ示され得るものである。従って、便益と費用の比較は単純には行えない。最初に銘記すべきは、現在の石油汚染状況が、いかなる基準に照らし合わせても、かなり悪いものであると云うことである。すなわち、石油生産設備から排出される排水は、油分を数千ppm も含む水中油滴型のエマルジョンであり、河川水や海水と均一に混じり合い、水域の表面から底部に至るまで影響を及ぼすと云うことである。陸上油田工業が生き延びることが出来るかどうかは、石油部門の拡張と云うことではなく、この様な、水中油滴型エマルジョンを50ppm まで低減し得るかどうかにかかっているのである。陸上油田の生産停止か、本計画の実施か、の二つの内どちらかを選択する場合、前者の選択では、原油および石油製品の輸出収入の僅か0.58パーセント相当額、あるいは、Bernstein タンクファームの生産額の約3パーセントに相当する、年間4,769,000 米ドルを節約するのみであり、この選択が合理的でないことは明かである。

10-9 代替案の検討

10-9-1 バロメトリックコンデンサーとサーフェスコンデンサー

第3次現地調査期間中に、調査団は、減圧蒸留装置のバロメトリックコンデンサーから排出される含油排水量を減らすために、このバロメトリックコンデンサーをサーフェスコンデンサーに交換することを提案した。これに対し、Petrotrin は、その交換費用を考慮して、含油排水と非含油排水が分離された場合には、

No. 4 A P Iがこのパロメトリックコンデンサーからの排水を処理するのに十分なキャパシティーを有するとして、パロメトリックコンデンサーはこのまま残すことを主張した。一方、プロジェクトスキームではパロメトリックコンデンサーを交換することがベースケースとして合意されているため、パロメトリックコンデンサーを交換しない場合をCase-1として感度分析を行った。

パロメトリックコンデンサーの排水は、凝縮油を多量に含むため、C P IおよびD A Fによる処理が必要である。このために必要な設備容量の増加は、毎時262トンと予想される。

計算結果は、ベースケースに比べ年間費用が885から1,251米ドルへ、あるいは、パーレル当たりの処理費が0.04から0.06米ドルへ増加したことを示している。

10-9-2 低効率油井の影響

既に述べた様に、排水処理を行う場合の最も重要な点は、汚染水量の低減である。このことはBernstein タンクファームの場合にも当てはまることである。設計排水量は、原油1トンあるいは6.3パーレル当たり、平均2トン生じる。原油は数多くの油井から生産されるが、油井毎に生じる水の量は異なる。

このことより生じる問題点としては、汚染水を大幅に低減し、排水処理費用を軽減するために、低効率の油井、即ち水の産出比率の高い油井を停止すべきか否かと云うことである。

本問題のために、以下の仮定の下、感度分析を行った。

1. Bernstein タンクファームの排水処理設備の、排水単位容積当たりの処理費は、設備容量の0.8乗に比例する。
2. 原油1パーレルは12.0米ドルの経済価値である。
3. 原油に同伴する水は注入蒸気に由来する。

4. 水1バーレルは、原油0.08バーレルに相当する燃料、あるいは0.96米ドルを消費する。

表10-5は、Bernstein タンクファームの原油生産量が日量で25,000、27,500および30,000バーレルとした場合に生じる経済価値を比較したものである。これら3つの場合について、処理排水量は、それぞれ日量で13,000、24,000および60,000バーレルである。

Table 10-5 Case Study of Economic Value Generation for Waste Water Treating Capacity at Bernstein Main Storage

(Unit: thousand U.S. Dollars per day)

Crude oil production, bpd	25,000	27,500	30,000
Waste water generation, bpd	13,000	24,000	60,000
Ratio	0.217	0.400	1.000
Ratio raised to 0.8th power	0.295	0.480	1.000
Economic value generation	300	330	360
Increment	0.000	30.000	30.000
Economic value consumption			
Waste water treating system	3.139	5.108	10.641*
Steam	12.480	23.040	57.600
Total	15.619	28.148	68.241
Increment	0.000	12.529	40.093
Net economic value	284	302	292

Note: * Treating cost at Bernstein Main Storage
Source: Study team

原油生産量が日量27,500バーレルから30,000バーレルへ増加した場合、発生する実際の経済価値は減少することに留意する必要がある。これは、この場合、蒸気の経済コストの増加分が、発生する経済価値の増加分よりも大きいことに因るものである。27,500バーレルから30,000バーレルの差の2,500バーレルの原油は、大量の蒸気を必要とする低効率油井から産出される。これより、排水処理設備の経済コストの増加分は限界値であることが分かる。これらの3ケースでは、発生する実際の経済的価値は、ほとんど同じではあるが、低効率の油井の生産を停止するケースについては、汚染水量を低減することにより、環境中へ放出される汚

染物質が減少し、排水処理設備の規模を小さくすることが出来、初期の資金を低減出来る等の多くの利点があるため、検討に値すると考えられる。

現在、蒸気の発生は同伴ガスを燃焼させて得ているが、これ以外の方法で、蒸気発生を経済コストを考慮しなくて良い方法があるならば、蒸気消費量および排水発生量にこれほど注意を向ける必要はない。しかしながら、同伴ガスはより適した使用方法があるものであり、またその熱量に応じた経済価値を有しているものである。この点を考慮して、低効率油井の運転停止を検討してみる必要がある。

10-10 油田の寿命

以上の検討は、全て、調査対象地域において20年間は原油を産出し続けると云うことを前提としている。調査団は、調査地域における油田の貯蔵量に関する調査は実施してはいないが、これに関しては、本調査地域における原油生産は将来的にも有望であり、探査と試掘を行った結果、本地域にて未開発の油田が発見され、今後数十年間に亘り生産可能である、との情報を、トリニダッド・トバゴ側より得ている。

第11章 結論および勧告

11-1 結論

トリニダッド・トバゴ国政府は、石油に依存している同国の経済を、他産業を育成することにより、多様化したい考えである。しかしながら、短期間において収入を得られる産業としては、石油産業以外は見当たらないものの、深刻な石油汚染が石油産業のこれ以上の発展を阻んでいる。政府はこの深刻な石油汚染に対して多大の関心を払っており、環境政策の第一歩として、最近環境庁（Environmental Management Agency: EMA）を設立している。現在のところ、石油設備からの排水中の油分濃度に関しては法的な規制値は無く、EMAが近々環境基準および規制を設ける予定である。唯一の基準値として、エネルギー・エネルギー産業省が定めている、製油所および陸上石油生産設備からの排水中の油分は、月間平均値で50ppm、日量最高値で75ppmを越えない、と云うガイドライン案があるのみであり、今回の調査では、このガイドライン案が目標値となった。

本調査対象地域、トリニダッド島南西部の油田地帯における石油汚染は深刻な状況を呈しており、速やかな改善策が必要となっている。大気、水、土壌汚染の内、水質汚染が最も進んでいる。油は、石油施設の排水と共に放流され、河川や海を汚染しており、この地域の河川や海では水中の油分濃度が時には数千ppmに達することすらある。この結果この地域の河川に設けられたダムやキャッチには油が堆積している。

上記の様な油汚染は、二つのタイプのエマルジョンに因って引き起こされている。一つは、原油の生産時に同伴する水であり、水中油滴型エマルジョンを形成している。このタイプのエマルジョンは、水中に1ミクロン以下から最大約10ミクロンの径の油滴が均一に分散しているものであり、極めて安定であるため、調査対象地域に設置してある重力式の油水分離機では水と油に分離することは出来ない。油分濃度も高く、1万ppmにも達する。また、この水は、通常のシルトを含んだ河川水の様な茶褐色を呈しており、肉眼では油を含んでいる様には見えな

い。この水中油滴型のエマルジョンの水が石油生産設備より排出され、水と均質に混じり合い、水の表層から底部までの全体を汚染しながら、調査地域の河川から Paria 湾へと到っている。従って、肉眼では直接油汚染は観察されなくても、このタイプのエマルジョンによる油汚染は深刻であると言わなければならない。

もう一つのタイプのエマルジョンは、重油の様に粘着性が有り、高粘度の油中水滴型のエマルジョンである。このタイプのエマルジョンも非常に安定で、容易に水と油には分離しない。一般的には、セパレーターの水面に浮かんでおり、掬い捕ってタンクへ戻す。また、タンクやセパレーターに堆積後環境中へ排出され、河川、海、土壌を汚染する。このタイプのエマルジョンによる汚染は、前者のタイプのエマルジョンと異なり、汚染の状態が肉眼にて観察可能である。

油による土壌汚染は、石油設備からの油の漏洩が有る場所および含油廃棄物を溜めているアーサンピットの近くで見られる。

水中油滴型エマルジョン、油中水滴型エマルジョンおよび土壌の、上記3つの汚染問題に対して技術的な解決策を提案することが、本調査の主題である。調査団が実施した、本問題に関する包括的な実験等に基づき、本報告書はこれらの3つの問題の解決案として以下を提案する。即ち、水中油滴型エマルジョンの処理には加圧浮上法および活性炭吸着法を、油中水滴型エマルジョンの処理には焼却法を、土壌汚染の処理に関しては、アーサンピットへの投棄を中止し、Petrotrin が試みている生物処理法を採用する、ことである。

調査団は、Pointe-a-Pierre 製油所およびBernstein タンクファームに排水処理設備を設置することを提案する。これらの建設費は、1994年のトリニダッド・トバゴ価格を基準として、それぞれ3,377,000 米ドルおよび16,300,000米ドルと見積もられる。また、年間操業費は、4,769,000 米ドル、あるいは原油1バレル当たり0.22米ドルである。本報告書は、この費用を妥当であると判断する。

本調査の主要な結論を以下に述べる。

1. 汚染の状況

調査地域における石油汚染は極めて深刻である。その中でも、水中油滴型のエマルジョンおよび油中水滴型のエマルジョンに因って引き起こされる水質汚染は最も深刻である。河川および海の油分濃度は非常に高く、時として目標値の50ppmをはるかに越える数千ppmに達することもある。

2. 政府の政策

政府は現在の汚染の状況を極めて深刻なものであると認識しており、またこのことが、同国の社会・経済的発達を阻止する要因であると見なしている。このため、速やかな改善策の実施が望まれている。環境に関する具体的な政策の一步として、環境問題に関する全権を有する環境庁（EMA）を設立した。

3. ダムおよびキャッチ

トリニダッド・トバゴの気候は、1月から5月までの乾期と、6月から12月までの雨期に分けられる。雨期には時折豪雨が降り、これにより増大した河川水がダムやキャッチを溢流し、そこに堆積している油やその他の堆積物を洗い流し、下流を汚染する。調査団は、これらのダムおよびキャッチに関して、水文学的な調査を行い、これらのダムおよびキャッチは全て、豪雨時には溢流が起きるとの結論を得た。これに関し、調査団は、雨量変動を吸収するのではなく、雨量の変動に影響されない排水処理設備の設置を提言し、このためダムおよびキャッチに関しては、雨量の増加時に備えての設備の拡張は必要ないと結論した。

4. 原油生産時の同伴水、水中油滴型エマルジョン

調査団は、顕微鏡を用いて、原油生産時の同伴水の綿密な観察を行い、これが水中油滴型のエマルジョンであることを明らかにした。この同伴水が、一般的なシルトを含む河川水のような茶色を呈しているのは、水中に懸濁し

ている微小な球状の油に因るものであり、また、シルトの様な微小な無機物質は実質的には含まれていないことが明かとなった。更に、いくつかの試料に関しては、コールターカウンターを用いて粒度測定を行い、このエマルジョンの粒径の中位径が約2.5 ミクロンであることを見出した。

水中の油滴は非常に小さく、エマルジョンは極めて安定である。このため、現在調査地域に唯一設置されている、APIセパレーター、CPI、ガードベースンと云った重力式の油水分離装置では、このエマルジョンを油と水に分離する事は出来ない。このエマルジョンを、経済的且つ実用的に水と油に分離するために、pH、温度の影響、エマルジョン破壊剤、ケロシンによる油滴の抽出、電解質液の添加等、種々のテストを行った。この内のいくつかについては、実験室の条件で幾分効果が観察されたものもあったが、実際の現場で実用に耐え得るものは見出せなかった。

最後に、明礬および高分子凝集剤を凝集剤として用いて、加圧浮上法(DAF)のテストを行い、この方法が実際の排水処理に適用可能であることを見出した。本法を用いると、処理後には、水中に油滴の残存が観察されない極めて清澄な処理水が得られる。DAF法による処理は、まず明礬によりフロックが形成され、その後高分子凝集剤により凝集が起こる。油滴はフロックに捕捉されて水の表面へと浮かび上がるが、この際、加圧水から発生した微細な気泡がこの浮上を助ける。油を含むフロックは、プロジェクトスキームに示した通り、スキミング、脱水後、焼却処理される。

5. DAF処理後の水

Bernstein タンクファームの試料のいくつかについては、加圧浮上処理後も50ppmの油分濃度を越えるものが見出された。この場合50ppmの定義が重要となってくる。正確には、50ppmと云うのは、トリニダッド・トバゴで正式に採用されている、フレオン抽出法によるASTM D-4281法にて分析を行い、試料水1リットル中の「Oil and Grease」として認められた50mgの物質の意味である。この方法では、フレオンには油、あるいは純粋な炭

化水素だけではなく、その他の様々な有機化合物も溶解する。原油から由来の純粋な炭化水素のみを対象として処理を行うのであれば、目標の50ppm以下とするためには、DAFのみで十分だが、今対象としている水はこの様な水ではない。原油中に、カルボキシル基を有する芳香族あるいはナフテン族等の物質が存在する場合、これらの物質は、容易に水に溶解し、ASTM D-4281 法の分析法により油と測定されることになる。このことは、原油に同伴する水に関して、実際に起こり得ることである。ガスクロマトグラフ質量分析機（GC/MS）を用いた分析により、これらの物質がナフテン酸であることが示された。生物処理法および活性炭吸着法の、これらの物質を除去できると予想された2種類の処理法のテストを実施した結果、活性炭吸着法が極めて効果のあることが示され、生物処理法は効果の無いことが示された。この結果を基として、原油生産時の同伴水の処理方法として、DAFの後流に活性炭吸着設備を設置することを提言した。

6. プロジェクトスキーム

Pointe-a-Pierre 製油所およびBernstein タンクファームについて、次のプロジェクトスキームを提案する。

	Bernstein Main Storage	Pointe-a- Pierre Refinery
Design conditions for DAF and ACA Units		
Flow rate, cubic meters per hour:	440/400	250
Oil content of water, mg/liter		
Inlet	1,000	400
Outlet, maximum		50
ACA outlet, maximum	50	
Waste treatment center, with incinerator		
Scums, tons per hour	32	2.0
Emulsion, barrels per day	75	33
Water/oil ratio of emulsion	35/65	35/65
Schedule, year		
Preparation	1	1
Construction	1	1

Los Bajos タンクファームからBernstein タンクファームまでの排水の移

送に関しては、Los Bajos タンクファーム内にポンプおよび電気設備を設置すると共に、8インチのパイプを12Km道路沿いに敷設する。

7. 概念設計およびコストの見積

プロジェクトスキームに基づき、プロセスの決定、物質収支計算、既設設備の改造計画、プロセス仕様の決定、機器仕様の決定および配置計画を行った。これらに関しては、メインの報告書の第21章「概念設計」に詳述した通りである。また、1994年のトリニダッド・トバゴ価格を基準として、米ドルにて表示した、設備の建設費および操業費を求めた。設備建設費は、Pointe-a-Pierre 製油所で3,377,000米ドル、Bernstein タンクファームで16,300,000米ドルである。

	Bernstein Main Storage	Pointe-a- Pierre Refinery
Installed plant cost, U.S. thousand Dollars	16,300	3,377
Operation cost, U.S. thousand Dollars/year		
Variable operation cost	1,724	302
Fixed operation cost	915	269
Total operation cost	2,639	571

8. 評価

建設期間を2年間、操業期間を19年として、21年間のキャッシュフローを計算した。計算は、年間の割引率を10パーセントとして、排水処理設備を運転・維持するための年間の負担費用を求めた。計算結果は、4,769,000米ドル、または、バレル当たり0.22米ドル、となった。この負担費用は、種々の経済指標に対して次のような意味を持つ。

GDPの0.13パーセント； GDPは約 $20,000 \times 10^6$ T Tドル。

GDPに対する石油部門の寄与率の0.54パーセント； GDPに対する石油部門の寄与率は約25パーセント。

国家歳入の0.45パーセント； 国家歳入は約 $6,000 \times 10^6$ T Tドル。

年間一人当たり4.00米ドル； トリニダッド・トバゴの人口は124万人。

1人当たりのGDP 3,043米ドルの0.13パーセントに相当。

輸出収入の0.38パーセント； 輸出収入は約 $7,000 \times 10^6$ TTドル。

原油および石油製品輸出収入の0.58パーセント； 原油および石油製品輸出による収入は、全輸出収入額の約65パーセント

現在の石油汚染の深刻さを考慮するならば、50ppmの目標値の達成なくしては陸上油田の存続は有り得ない。問題は、何としてもこの負担額を受け入れるか、或いは陸上油田の生産を停止するかである。1バレル当たり0.22米ドルの僅かな負担額で、陸上油田の生産停止と云う事態は避けられる。排水処理設備費用の資金としては、原油および石油製品の輸出収入が最も適していると考えられる。汚染防止およびその管理のために、石油部門が割く輸出収入の0.58パーセントと云う数値は、さほど大きな数字ではなく、この僅かな費用増加により世界石油市場におけるトリニダッド・トバゴの競争力が損なわれる心配はない。

排水処理の経済コストと調査地域の原油の経済価値を比較した。この結果、排水処理の経済コストおよび原油生産に要する費用を差し引いた後でも、1バレル当たりの原油は、尚8米ドルの経済価値を有することが明らかとなった。これにより、排水処理費用は妥当であると言える。

トリニダッド・トバゴの石油の国内消費量は、その輸出量に比べると非常に少ない。このため、排水処理のために負担すべき費用を全て国内の消費者へ転化することは正当ではない。もしも4,769,000米ドルと云う経済的負担額を国内の消費者へ転化したとすると、全ての石油製品平均1リットル当たり、0.033TTドル付加されることとなる。これは、石油製品の小売価格が現在1リットル当たり平均0.4ないし0.5TTドルであることからすると、大きすぎる額である。

本計画の実施は、数値的に評価出来ない様々な社会経済的便益をもたらす。農業、漁業への損害が低減すると共に、石油汚染に由来する健康被害も低

減し、石油部門の拡張と発展を支持する状況も生じてくるであろう。また、本計画の実施は、同国内における事業機会を拡張すると共に、新技術の導入が行われる。以上のことは、公共の、環境保護に対する意識を向上させ、また、トリニダッド・トバゴにおける生物種の多様性の保護の一助ともなる。

本計画では、汚染水を低減させるために、Pointe-a-Pierre 製油所の減圧蒸留装置のパロメトリックコンデンサーをサーフェスコンデンサーに取り替えることを要求している。CPIおよびDAFを増設し、これによりパロメトリックコンデンサーの排水を処理すると仮定して、パロメトリックコンデンサーの使用を続けた場合について感度分析を行った。計算結果は、パロメトリックコンデンサーの交換を行わなかった場合には、1パーレル当たりの処理費用が、交換を行った場合の0.04米ドルから0.06米ドルへ増加することとなった。

いくつかの低効率の油井では、原油を1パーレル生産するために、不釣り合いなほど多量の水を産出している。Bernstein タンクファームへ直接、あるいはLos Bajos タンクファームを経由して原油を送油している全ての陸上油田の、原油と水の生産量に関する一連のデータを、水/原油の生産量比の順に並び替えて計算を行い、原油と水の生産量の関係を調べた。これによると、生産される水の78パーセントは、17パーセントの原油を生産している低効率の油井から生産されている、また、同様に、60パーセントの水は、8.3パーセントの原油を生産するための油井から生産されていることが示された。現在の原油を全量生産する場合、8.3パーセント生産を減量した場合および17パーセント生産を減量した場合の3つの場合について、それぞれから生じる実質の経済価値を比較した。この計算に拠ると、原油生産が全量の場合と17パーセント減量した場合とでは、原油生産量の差による経済的価値の増加は、原油生産のための費用および排水処理のための費用の増加によって相殺されてしまい、実質的な経済的価値の増加は無い結果となった。油井の運転を停止することによって得られる様々な利

益、即ち、環境中へ放出される汚染物質の低減、排水処理設備の規模の低減、必要初期資金の軽減等を考慮すれば、最も低効率の油井の運転を停止する事を検討してみるのも価値のあることと考えられる。

9. 運転とメンテナンス

調査地域における石油設備の運転およびメンテナンスの状況は概ね良い。従って、Petrotrin の技術レベルは高いと言える。しかしながら、現在行われている運転およびメンテナンスに関しては、恐らく、必要な資金や人手不足の問題、あるいは、それらが慣例として実施されていると云うこともあろうが、さらに改善すべき点はある。以下は、これらに関し、汚染防止と云う観点より見た場合の重要な点について記す。

(1) 非含油排水の排水処理設備への流入

ほとんどの石油設備において、含油排水系統と非含油排水系統が分離されていない。雨期にはしばしば大量の雨水が排水処理設備に流入し、処理設備の能力を越える処理量を処理するため、その処理効率を著しく下げている。

(2) 適切な排水処理設備の欠如

Pointe-a-Pierre 製油所、タンクファーム、ギャザリングステーションのいずれも、排水の種類に応じた適切な排水処理設備を有していない。

(3) アーサンピットの使用

含油廃棄物の貯留のためにアーサンピットが使用されているが、これが土壌および地下水の汚染の原因となっている。

(4) セパレーター表面への油およびエマルジョンの蓄積

A P I セパレーター、ガードベースン、ダムおよびキャッチの表面に油および油中水滴型のエマルジョンが蓄積しているが、これらは収集する必要がある。

(5) 過去の油漏れの残留

過去に起こした油漏れがそのまま放置されており、これが周囲への汚染を引き起こしている。

(6) 事後保全（ブレイクダウン・メンテナンス）

偶発的な汚染事故を防止するために予防保全（プリベンティブ・メンテナンス）を実施すべき機器に対し、いまだに事後保全を行っている。

(7) 老朽設備

配管やパイプラインの例に見られるように、いくつかの設備については老朽化しその性能が劣化している。油の流出を未然に防止するために、検査・点検を頻繁に行う必要がある。

10. 法制および行政的対策

トリニダッド・トバゴには、行政が汚染を管理するための適当な法律上の体制が無い。このため、排出基準はすでに設定されているものの、汚染状況の監視は適切には行われていない。

11-2 勧告

本報告書では、二つの事項についての勧告をおこなう。即ち、50ppm の目標値を達成するために何をなすべきか、と云う勧告と、適切な操業の実施のための勧告、の二つである。以下にこれら二つの勧告を分けて記載する。

11-2-1 50ppm の目標値を達成するための勧告

メインレポートの第20章「プロジェクトスキーム」に示し、第21章「概念設計」にて詳述した計画を、出来るだけ速やかに実施する必要がある。提案した計画を実施するに当たっては、以下の事柄を更に提案する。

1. 有利な資金調達

トリニダッド・トバゴが、本プロジェクトのための資金調達を必要とするならば、条件の有利な資金調達を探すべきである。国際的な融資機関や、OECD加盟国の二国間融資制度からの有利な条件での融資の可能性を検討してみるべきである。

2. ランプサム契約とコストプラスフィー契約

本計画をトリニダッド・トバゴで実施するに当たっては、十分な能力と信頼性を有し、性能保証を行う一つの業者にランプサム契約で発注するのが好ましいと考えられる。この方法では、全計画を前もって明確な展望の下で理解する事が出来、また、事業主は一定の金額の下に計画の遂行が保証される。事業主は、全計画の遂行のために、一つの業者に全面的な責任を負わすことが出来、多くの機材供給業者と直接交渉する必要はない。ランプサム契約では、同一の条件の下で公開競争入札を行うことが可能であり、また、入札の評価もコストプラスフィーの場合に比べて容易である。

3. Bernstein タンクファームの上流からの原油同伴水の流出

本計画実施のための前提条件は、Bernstein タンクファームの上流側では、いかなる設備、あるいは運転に際しても、一滴の原油同伴水も河川、環境中に流出させてはならない、と云うことである。この事が忠実に守られなければ、排水処理設備は全体としてその効果を減ずることになる。この観点から、Bernstein タンクファームの上流側で設備の運転に従事する人間への教育、訓練が適切に行われることが不可欠である。

4. 低効率の油井の影響に関する検討

計画実施のための準備を行うと同時に、メインレポート第23章の8-2に記した、低効率の油井の影響に関する検討を、この目的のために、6カ月程度に亘って周期的に収集したデータを用いて、更に詳しく行うべきである。適切な原油の二次回収と適正な水量の設定のためには、この検討が不可欠である。この検討は、低効率の油井の運転を停止した場合に生じる雇

用問題等の、あらゆる関連事項を考慮して行うべきであり、従って、これを実施する機関としては、政府が最も適している。検討により得られた結果を基に、汚染防止の費用と便益が見直されるべきである。便益は費用と対比させることにより、一層改善されるであろう。

5. 油中水滴型エマルジョンおよびスカムの投棄

Trinidad Cement Limited(TCL)が、DAFからのスカムを原料として使用し、スロップ油および油中水滴型エマルジョンをキルンで燃焼させることが可能との結論を得るならば、これは廃棄物の有効利用になる。この場合、スカム、油中水滴型エマルジョンはTCLへ供給され、現在提案している廃棄物処理センターの規模は小さくなる。

6. 溶解物質の影響

排水処理設備の処理後の排水中には、最大50ppmの水溶性の炭化水素誘導体が含まれていることに注意しておく必要がある。これらの物質の水生生物に対する影響は明確にされていない。従って、政府およびPetrotrinは、これらの物質の水生生物体内への蓄積およびその影響を、長期間に亘り監視すべきである。

11-2-2 適切な操業実施のための勧告

1. 設備のメンテナンス

第17章「メンテナンス」に記した種々の提案は、Petrotrinの予算の許す範囲で実施することを勧める。

2. アーサンピットの使用

含油廃棄物を貯留するための、アーサンピットの使用は中止すべきである。含油廃棄物は提案した廃棄物処理センターで焼却処理を行う。

3. セパレーター表面への油およびエマルジョンの蓄積

A P I セパレーター、ガードベースン、ダムおよびキャッチの表面に油および油中水滴型のエマルジョンが蓄積しているが、これらは回収する必要がある。ダムやキャッチに油が発見される場合は非常事態と考えられ、この場合には、緊急処理班を現場に急行させ、回収を行うべきである。この場合、油の発生源を特定し、再びこの様な事故が起こらない様な、適切な対策を直ちにとるべきである。

4. 過去の油漏れの残留

過去に油漏れを起こし、そのまま放置されている油は回収の必要がある。汚染された土壌は、Petrotrin が計画している生物処理法により浄化を行うか、焼却処理を行うかすべきである。

5. 事後保全（ブレイクダウン・メンテナンス）

タンクやパイプラインの様な、大きな偶発的な汚染事故の原因となる可能性のある設備に関しては、例外無く全て予防保全（プリベンティブ・メンテナンス）を行うべきである。

6. 老朽設備

配管やパイプラインの例に見られるように、いくつかの設備については老朽化しその性能が劣化している。油の流出を未然に防止するために、検査・点検を頻繁に行う必要がある。

7. 環境管理のための人材の育成

環境管理を向上させるために必要な人材を育成すべきである。この様な人材は、技術分野はもちろん行政的な分野にも必要である。トリニダッド・トバゴ国はふさわしい人間を選出し、その能力を伸ばすためにあらゆる機会を活用すべきである。

8. 環境監視

EMA、エネルギー・エネルギー産業省とPetrotrinは、石油汚染を監視し
またそれらのデータを蓄積するために、共同で監視計画を促進すべきであ
る。

JICA



LIE