



技術解説

# オイルサンド油の アップグレーディング開発研究

藤田 稔\*

## 1. ま え が き

エネルギー資源の多様化と石油代替エネルギーの開発をめざして、昭和54年から約10年間にわたって、通産省によって各種の研究組合が設立され、研究開発が進められてきた。

その概要を述べると、昭和54年に重質油対策技術研究組合が設立され、昭和62年まで9年間、総事業費約600億円をかけて研究開発が実施され、昭和55年に新燃料油開発技術研究組合が設立され、昭和62年まで8年間、総事業費約230億円をかけて研究開発が行なわれ、さらに、昭和58年に軽質留分新用途開発技術研究組合が設立され、平成2年まで9年間、総事業費約220億円をかけて研究開発が遂行された。

その結果、数多くの国内および国外の特許が取得され、さらに、いくつかの研究は実際に工業化されて稼動しており、世界的にも高い評価を得ている。

通産省のこの研究組合システムは世界にも類のない素晴らしいシステムで、多くの石油精製業、エンジニアリング業、化学工業、発酵工業の会社が相協力して国家的な研究テーマについて研究開発してゆくもので、相互の信頼にもとづく技術の公開、協力が行われるため、研究効率が非常に高まるとともに、各企業の研究レベルも向上し、設備・機器も充実した。

筆者((元)昭和シェル石油(株))は、昭和55年から昭和62年までの8年間、新燃料油開発技術研究組合の研究管理委員長を委嘱された。

新燃料油とは、石炭、天然ガス、オイルサンド、オイルシェール、バイオマスなど、石油以

外の豊富、低廉な資源からつくられる液体燃料であり、石油製品とほぼ同等の性状をもつので、そのままか、あるいはガソリン、灯油など石油製品にブレンドして使用することができる。

研究開発テーマは、(1)天然ガス、石炭からの合成ガス(H<sub>2</sub>, CO)からガソリン、灯油、軽油および燃料用アルコール類の製造(2)オイルサンド油、オイルシェール油の改質精製によるガソリン、灯油、軽油、重油等の製造(3)バイオマス資源の分解、発酵による輸送用燃料アルコール類の製造である。

筆者は、この研究組合の研究テーマの一つであるカナダのオイルサンド油のアップグレーディングの研究開発を遂行した<sup>1)2)3)4)5)6)</sup>。次に、カナダのエネルギー開発の調査団の団長として派遣され、調査を行なった。さらに、通産省の委託調査研究としてカナダのオイルサンド油のアップグレーディングに関する経済性調査<sup>7)</sup>も行なったので以下に概要を述べる。

## 2. カナダのオイルサンド油賦存状況

世界のオイルサンド油賦存量は約1.62兆バーレルでこのうちカナダには約1.57兆バーレル(97%)存在している。

カナダのオイルサンド油の鉱床はアルバータ州に集中している。主要なオイルサンド油鉱床はAthabasca/Wabasca(1.2兆バーレル)、Cold Lake(0.2兆バーレル)、Peace River(0.1兆バーレル)であるが、このうち露天掘りの対象となるものは約5%、750億バーレルにすぎない。

## 3. カナダのオイルサンド油採掘プロジェクト

カナダにおけるオイルサンド油の採掘は露天掘方式(Open pit mining)と油層内回収方

\*藤田 稔(Minoru FUJITA), 富士デヴィソン化学(株), 技術顧問, 工学博士, 応用化学

式 (In-situ recovery) によって行なわれているが、露天掘方式についてはとくに技術的に問題がなく、Suncor が 50,000 バレル/日、Syncrude が 200,000 バレル/日の商業生産を行なっている。しかし、露天掘方式の対象となるオイルサンド油の量は全賦存量の約 5% にすぎないので、今後のオイルサンド油の採掘は油層内回収法を用いなければならない。

現在、スチーム圧入法による油層内回収を商業的に行なっているのは、Esso が Cold Lake で 50,000 バレル/日、BP が Cold Lake で 40,000 バレル/日、Shell が Peace River で 40,000 バレル/日である。

さらにアルバータ州の各地区で油層内回収法の開発プロジェクトが強力に推進されている。

#### 4. カナダのオイルサンド油改質精製プロジェクト

現在オイルサンド油の改質精製を商業的に実施しているのはカナダの Syncrude 社 (200,000 バレル/日) と Suncor 社 (50,000 バレル/日) の二社であり、ここで製造された合成原油はパイプラインによってエドモントンへ送られ、天然原油と混合して通常の石油精製装置にかけられ石油製品となる。合成原油のカナダの全石油製品使用量中に占める比率は約 10wt% である。

カナダにおけるオイルサンド油の改質精製に関する開発研究は主として AOSTRA (Alberta Oil Sands Technology & Research Authority) が中心となって民間と共同で進めている。

まず改質精製技術についてはプロセスを保有する 12 の民間企業 (BP, Dome, EMR, Esso, Gulf, Husky, Petro-Canada, Phillips, Shell, Suncor, Texaco, Veba) が参加し、液収率の向上、エネルギー効率の向上、環境保全の向上、経済性の向上、小規模装置への適用などの目的に対して、9 種のアップグレーディングプロセスを同一のベースで技術的ならびに経済的比較を行った。この研究は 1983 年 9 月に終了し、全 17 巻のレポートは 25 万ドルで販売されている。

#### 5. 新燃料油開発技術研究組合 (RAPAD) におけるオイルサンド油改質精製研究開発

現在、世界において商業運転中のオイルサンド油改質精製プロセスは次の二つである。

Suncor 社 : ディレードコーキング+水素化精製

Syncrude 社 : フルードコーキング+水素化精製

これらは第一次処理として過酷な熱分解によってオイルサンド油に含まれている無機微粒子物質や金属化合物、アスファルテンをコークスまたは残渣の形で濃縮、除去したのち第二次処理として水素化精製を行なうことによって硫黄、窒素などの不純物を変換除去し、オイルサンド油から合成原油をつくるものである。

しかし、これらのプロセスでは原料油に対しておよそ 15~20wt% の利用価値の低いコークスや残渣を副生するのでこれらの処理が共通した重要な問題となっている。また、合成原油収率が 65~70wt% と低い。

このような現状にかんがみ、オイルサンド油から軽質油への転換効率が高く、自己消費以外のコークス、重質残渣を副生しない新しいオイルサンド油の改質精製技術の開発が要望される。

##### 5.1 オイルサンド油の性状

表 1 にカナダのアサバスカ・オイルサンド粗油およびオイルシェール油、原油の性状を示す。表より明らかなように、オイルサンド油はきわめて粘稠な重質炭化水素油であり、硫黄分と窒素分が多く、また、重金属分も多い。したがって、脱硫、脱窒素、脱金属、分解が必要である。オイルシェール油は粘度は小さいが乾留によって得られた油なのでオレフィンが多く、また、塩基性窒素分が多い特徴がある。

##### 5.2 研究組合の研究開発概要

新燃料油開発技術研究組合においては図 1 に示すような四つのプロセス開発を行なった。

①熱分解-水素化精製 ②ハイドロビスブレーキング-脱金属-水素化精製 ③熱分解-溶剤抽出-水素化精製 ④直接水素化精製

この中で筆者は②の研究開発を行った。

##### 5.3 昭和シェル石油 (株) の研究開発概要

表1 原料油のキャラクタリゼーション結果

油種	性状	油種			
		メレー 原 油	アサバスカ オイル サンド油	コロラド オイル シェール油	アラビアン ライト 原 油
原料油	比重 15/4°C	0.9440	1.0003	0.9137	0.8584
	硫黄 (wt%)	2.23	4.54	0.66	1.85
	残留炭素 (wt%)	9.91	10.6	1.78	4.20
	動粘度 @ 30°C (cSt)	3.49	@ 50°C 1510	60.6	7.40
	流動点 (°C)	-20 以下	+7.5	-17.5	-35 以下
	水分 (vol%)	0.6	0.6	0.4	0.1 以下
	泥水分 (vol%)	0.7	0.7	0.5	0.05
	塩素 (NaClとして) (ppm)	50	—	—	20
(沸点 530°C 以上) 減圧 残渣油	硫黄 (wt%)	3.48	6.00	0.66	3.90
	窒素 (wt%)	0.94	0.70	1.61	0.30
	バナジウム (ppm)	410	285	5	52
	ニッケル (ppm)	115	114	81	18
	H/C 原子比	1.43	1.41	1.56	1.47
	分子重量	1140	1080	1055	960
	芳香族性指数 (fa)	0.39	0.39	0.29	0.36
蒸留性状	初留点 (°C)	75	185	136	25
	5% 留出点	105	254	236	82
	10%	184	294	252	116
	20%	265	330	279	165
	30%	307	345	301	215
	40%	343	—	326	265
	50%	—	—	347	—
	60%	—	—	355 (55%)	—
各留分の収率 (vol %)	ガソリン (150°C 以下)	5.7	0.2	0.1	19.0
	灯油 (150~250°C)	10.8	4.7	11.5	18.0
	軽油 (250~350°C)	21.6	17.5	29.9	17.0
	減圧留出油 (350~530°C)	24.1	23.8	46.6	26.0
	減圧残渣油 (530°C 以上)	37.8	53.8	19.9	20.0

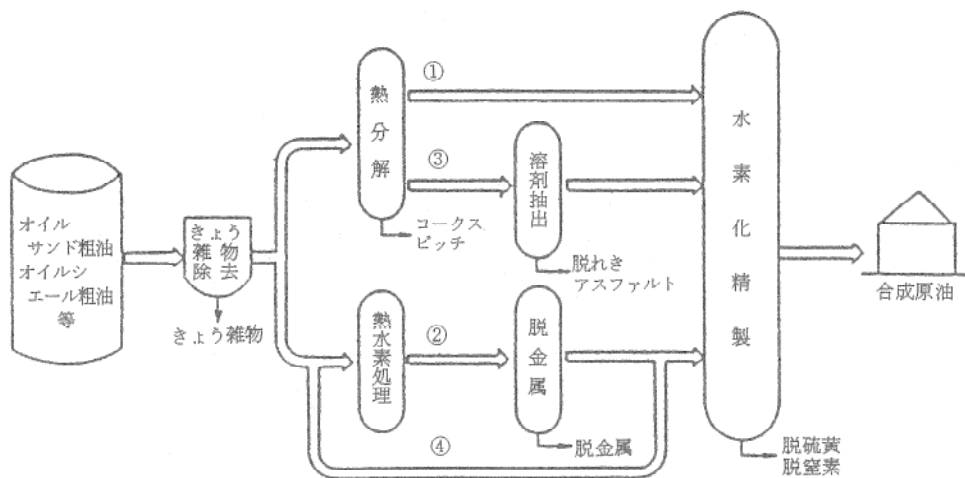


図1 オイルサンド粗油等の改質精製技術の開発

昭和シェル石油（株）はすでに昭和48年（1973年）11月カナダ・アサバスカ・オイルサンドを入手し、オイルサンド油を溶剤抽出法によって分離し、物性を測定し、ハイドロビスブレーキング（水素存在下における温和な熱分解）と水素化分解を組み合わせることによって、クリーンな燃料油を高収率で得られることを発見し、昭和49年（1974年）特許出願し、公報された。さらに、アメリカ、カナダ、ベネズエラに特許を出願し、公報された。このような技術的基盤に立って、通産省研究組合に参画した。

研究開発の目標は、オイルサンド原油からコークスの生成をできるかぎり少なくし、高収率でクリーンな燃料を製造する目的で、ハイドロビスブレーキングー脱金属ー水素化精製の組み合わせから成る新しい改質精製プロセスを開発することにある。次の各項目の研究開発を行った。

- (イ) 脱灰プロセスの開発（特許取得）
- (ロ) ハイドロビスブレーキングプロセスの確立
- (ハ) 脱金属触媒の開発（特許取得）
- (ニ) 水素化分解触媒の開発（特許取得）
- (ホ) エンジニアリング研究

5パーレル/日のパイロットプラントを写真1～3に示す。パイロットプラントによる長期連続運転によって得られた合成原油の成分を図2に、合成原油の各留分と残油の性状を表2に示す。

研究の目標値として、コークスの生成ゼロ、液収率80wt%以上、脱金属率および脱硫率90wt%以上とおいたが、研究の結果、コークス

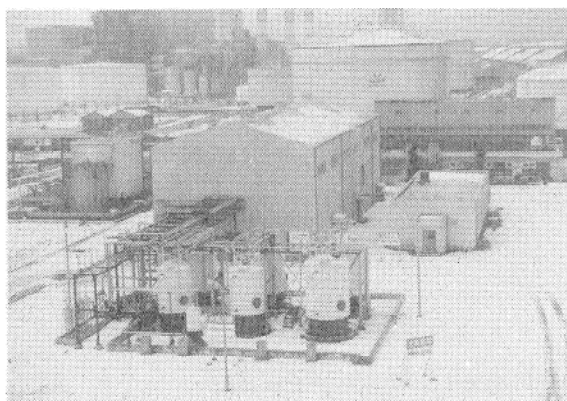


写真1 オイルサンド油パイロットプラント（5パーレル/日）全景

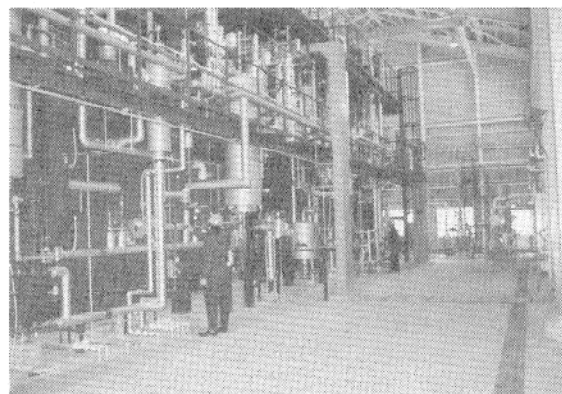


写真2 ハイドロビスブレーキング装置（5パーレル/日）

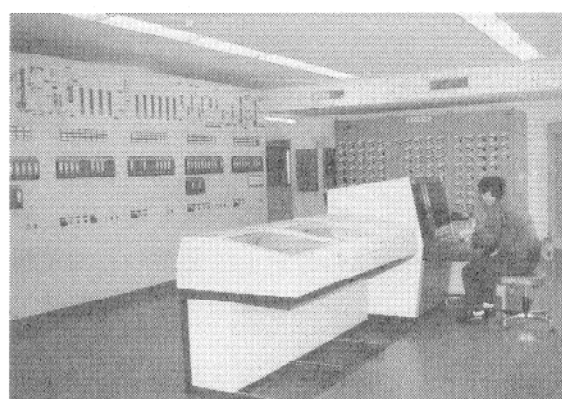


写真3 制御装置（5パーレル/日）

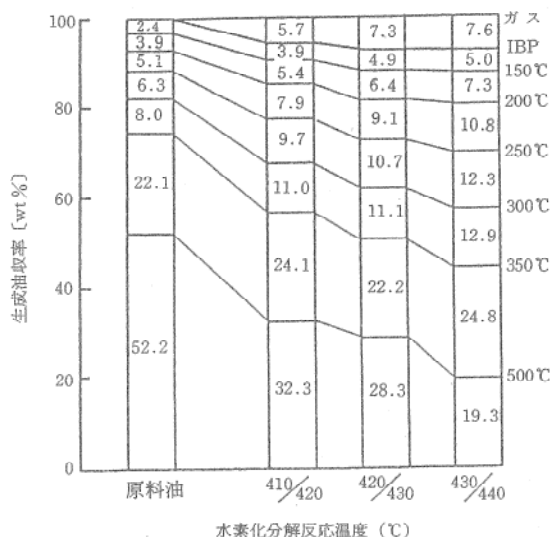


図2 オイルサンド油改質精製油の成分

の生成はゼロ、液収率90wt%、脱金属率98wt%、脱硫率98wt%と目標をクリアした。また、沸点500℃以上の残渣油の分解率は63wt%に達した。触媒寿命はパイロットプラントで

表2 オイルサンド油改質精製プロセス生成油各留分と残油の性状

分析項目	留分 (°C)	ガス	軽揮 IBP~100	重揮 100~150	軽灯油 150~200	重灯油 200~250	軽々油 250~300	重軽油 300~350	常圧残油 350~
比重 (15/4°C)		0.5912	0.6932	0.7574	0.8081	0.8499	0.8768	0.9018	0.9552
組成									
パラフィン分 vol%			71.8	47.4	27.4				
ナフテン分 vol%			25.4	40.2	47.8				
芳香族分 vol%			2.8	12.4	24.8				
オクタン価 (F-1)			65.3						
全硫黄分 wt% (ppm)			(97)	(46)	(60)	(44)	(54)	(234)	0.07
窒素分 wt%							0.028	0.091	0.26
煙点 mm					19.8	16.6	14.3		
流動点 °C							-37.5	-20.0	-20.0
セタン指数						38	41	42	
動粘度 30°C (cSt)						2.093	4.414	11.58	
動粘度 50°C (cSt)									100.9
残炭 wt%									3.66
灰分 wt%									0.004

3,000時間連続運転後もなお余裕があり、交換の必要は認められなかった。生成油の各留分の性状は天然原油留分のそれに近似しており、原油あるいは原油留分に混合して通常の石油精製にかけることにより、石油製品相当品が製造できると考えられる。

本研究開発の大きいポイントは脱金属触媒の開発にあった。ヒントは次のようにして生れた。アスファルトをデヴィソン・シリカゲル・クロマトグラフィーによって成分分離実験を行っていたとき、細孔直径が23Åのシリカゲルの場合にはアスファルテンが吸着をされずに溶出するが、孔径160Åのシリカゲルを用いると、アスファルテンが強固に吸着され、無色～淡黄色の飽和炭化水素成分(n-パラフィン主成分)が選択的に溶出されることを発見した。そこで、細孔直径のさらに大きい(300~500Å)、球状で耐水性、耐熱性で強度の大きいデヴィソン・シリカゲル触媒担体キャリアクト(Cariact)が開発された。この担体にバナジウムおよびニッケルを微量担持させた脱金属触媒V-Ni/SiO<sub>2</sub>を開発した。オイルサンド油をこの触媒層に高温、高圧水素気流中で通すと油中のV, Niが選択的に脱離して触媒に堆積し、堆積したV, Niが触媒として働らくことを見出した。

こうして、この脱金属触媒は1g当り約1gの金属(V+Ni)を保持する能力のあることも発見した。このような高性能脱金属触媒は世界

でも類を見ないものであり、貴重なVとNiの分離回収法にも応用できるものである。

## 6. カナダのエネルギー開発調査

通産省の委託により昭和58年度より「新燃料油経済性調査」が行なわれた。(受託機関: 日本経済研究所/日本開発銀行)。そこでオイルサンド油について現地調査を行なった。この調査団のメンバーは次のとおりであった。

団長: 藤田 稔 (昭和シェル石油) 副団長: 砂越洋一 (日揮) : 団員: 難波正義 (石油公団) 竹村 弘 (日本開発銀行), 山縣瞭之 (RAPAD), 藤田三男 (出光), 脇 安生 (日本開発銀行), 反田久義 (出光, N.Y) 石井幹夫 (J.T.B.カルガリー) 9名。期間は昭和60年9月28日(土)~10月9日(水)12日間。

1984年現在で、カナダの総面積998万Km<sup>2</sup>, 人口約2,600万人, 貿易208億ドル黒字, 石油使用量8,000万トン, エネルギー消費比率(%)は、石油43, 天然ガス25, 水力18, 石炭9, 原子力5であった。

訪問先は次のとおりであった。

- (イ) アルバータ州エネルギー省 (エドモントン)
- (ロ) AOSTRA (エドモントン)
- (ハ) Shell Canada Res. Ltd (ピースリパー)
- (ニ) カナダオイルサンド(株) (フォートマクマレー)

- (ホ) Syncrude Canada Ltd (フォートマクマレー)
- (ヘ) Murphy Oil Co. (コールドレイク)
- (ト) Energy Resources Conservation Board (カルガリー)
- (チ) EPI Resources Ltd (カルガリー)



写真4 シェル社自家用ジェット機(10人乗り)に乗る筆者(ピースリバー空港にて)



写真5 オイルサンド採掘現場(フォートマクマレー Syncrude社にて)



写真6 巨大なリクレーマーの前で(フォートマクマレー Syncrude社にて)



写真7 カナダの国花かえで紅葉す(オタワにて)

(リ) カナダ政府エネルギー資源省(オタワ)  
 (ヌ) カナダ国立研究所 CANMET(オタワ)  
 カナダの旅行中に撮影した写真をすこし示す。  
 写真7は帰国後、神奈川県内陸工業団地20周年写真コンクールに出品して、金賞を受賞した思い出深いものである。

カナダの印象としては、国土は広大で、大自然は美しく、資源が豊富でたいへん恵まれた国である。エネルギーの開発、輸出を目指し、海洋石油開発、天然ガスの開発と利用、石炭のガス化と液化、オイルサンド油の採掘とアップグレードに意欲的である。

### 7. オイルサンド油の経済性調査

昭和58年度ベースでオイルサンド油の経済性調査を行った。

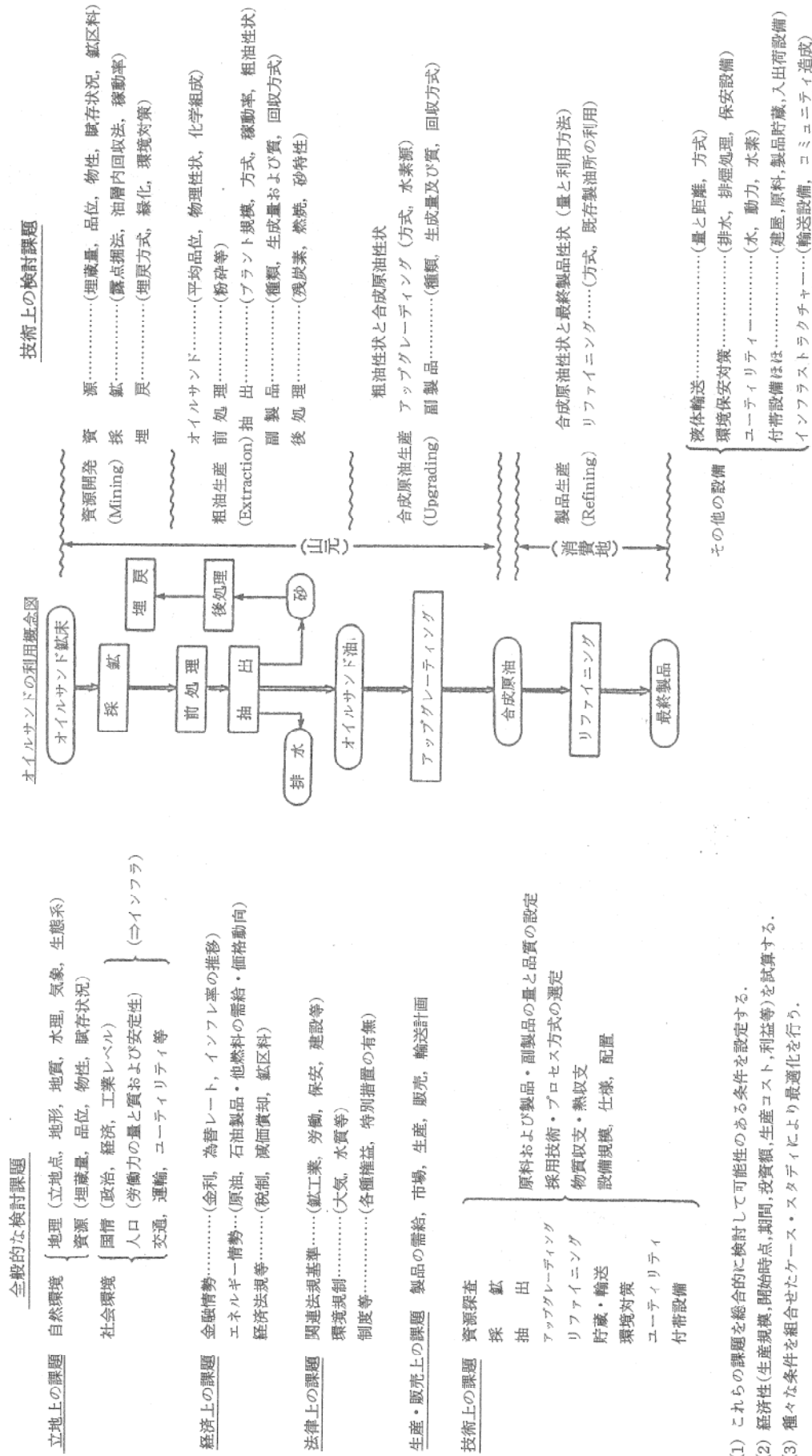
前提条件として、オイルサンド粗油はカナダにおいて油層内回収法によって生産することとし、合成原油の製造プロセスは、RAPAD(昭和シェル石油(株))で開発したハイドロビスブ

表3 コスト計算表

プラント規模: 50,000BPSD  
 生産量: 2,522,000kl/年 単位: 百万円/年

	金額	原単価(円/kl)
原料費	100,610	39,900
運転費	3,550	1,400
副製品控除	△1,030	△400
変動費計	103,130	40,900
人件費	1,020	400
資本費	19,750	7,800
その他の費用	1,960	800
固定費計	22,740	9,000
コスト合計	125,870	49,900
うちプロセス・コスト	25,260	10,000

表 4 オイルサンド油の開発・導入に係る検討課題



○相互に関連性を有しているため全体をトータルシステムとみなした検討を行う必要がある。

- (1) これらの課題を総合的に検討して可能性のある条件を設定する。
- (2) 経済性(生産規模, 開始時点, 期間, 投資額, 生産コスト, 利益等)を試算する。
- (3) 種々な条件を組合せたケース・スタディにより最適化を行う。



表 5 オイルサンド油の開発・導入にかかると問題点と対策

項 目	問 題 点 / 現 状	対 策	備 考
1. 開発・導入に係る問題点			
(イ) 原料確保	高品位で埋蔵量が多く、採掘条件のよい資源の確保。	日本の参加を受け入れ、輸出可能な資源保有国に対して資金の提供、技術の供与等による共同事業化の検討。 (工業化に当り、鉱区開発を早期に先行させる必要あり)	カナダオイルサンド側参加。
(ロ) 製造技術	大規模鉱床開発が必要でリードタイムが比較的長期。	具体的立地条件に対応した詳細検討を必要とする。	採掘条件のコストに与える影響が大きい。
Mining	大規模となり、露天掘は Suncor, Syncrude が実施中。	プロセス・装置とも現行のものでとくに大きい問題はない。	排水処理にかなりコストがかかる。
Extraction	熱水抽出法が商業規模で実施中。油層内回収法の場合には必要としない。	プロセスの副生が少なく合成原油の収率が高い新しいプロセスの開発が必要。	RAPAD: R/D 実施中。 昭和59年5BFPSDパイロットプラント実証運転中。
Upgrading	現在 Suncor, Syncrude 二社が実施中であるが利用価値の少ないコークスが大量に副生。合成原油収率低い。	ASTM, IP, DIN, JIS 等の各規格に合格するように処理する必要があり、検討を要す。	RAPAD: R/D 実施中。ベンチプラント。
Refining	通常の原油に10～30% 合成原油を混合して通常の石油精製装置によって精製して石油製品をうる。		
(ハ) 利用技術	石油製品と同等の利用が可能と考えられる。		
(ニ) 製品流通	現在の石油製品流通施設をそのまま利用できると考えられる。	採鉱、抽出については立地条件により詳細な検討を要する。	
(ホ) 環境・安全性	製造、流通段階ともに従来技術で対応しうると思えられる。	研究開発結果、経済情勢等の変化により見直す。	
(ヘ) 需 要	石油製品と同じと考えられる。		
(ト) 経 済 性	昭和58年度実施済。		(投資額がきわめて大きい。 粗油回収までのコスト大 → ナショナルプロジェクト 化。 不確定要因の存在。
[製造技術動向]			
(イ) RAPAD 研究動向	スタート時の基本的な考え方に大きな変更はない。	硫黄、窒素、金属分、残炭分、アスファルテンの少ない合成原油を高収率で製造するプロセスを開発中。	活性が高く長寿命の脱金属触媒と水素化処理触媒の開発がポイント。
(ロ) 国際的研究動向	油層内回収法の研究開発はきわめて活発である。	AOSTRA の研究報告、年間レビューを注目する必要がある。	オイルサンド油の開発プロジェクトはカナダ政府交代により再び活発化。
(アメリカ、カナダ等)	Upgrading/Refining の研究開発は今後も継続されるであろう。		



レーキング/水素化脱金属/水素化精製の組み合わせプロセスを採用することとし、オイルサンド油の処理能力は、資源の賦存状況、プロセスの経済性等を考慮して50,000バレル/日(7,950KL/日)とした。

オンサイト設備、用役設備、オフサイト設備について検討し、合成原油の製造コストを計算した。その結果を表3に示す。

合成原油の製造コストは約50,000円/KLであり、この中で、原料であるオイルサンド粗油のコストが約40,000円/KLで80%、精製コストが約10,000円/KLで20%であることがわかった。したがって、合成原油を安価につくる鍵はいかに安く油層内回収法によってオイルサンド粗油を生産するかにかかっている。

#### 8. オイルサンド油の開発・導入に係る問題点と対策

表4にオイルサンド油の開発・導入に係る検討課題を、表5にオイルサンド油の開発・導入に係る問題点と対策について示した。

#### 9. あとがき

世界的な石油需要の低迷により、原油の価格が低落し、一部には代替エネルギーの開発ニーズが少なくなったといわれる向きもあるが、エネルギー資源の乏しいわが国ではこのような外的因子に一喜一憂することなく、一步一步着実に新エネルギーの開発研究を進める必要があろう。

とくに今回のようにイラクのクウェート侵攻という予期せざる湾岸危機が発生すると、中東への石油の依存度の高いわが国にとってはきわ

めて不安な状態になる。これに対処するためにはエネルギー資源の多角化、すなわち、安定した自由主義国からの安全な輸入が望ましい。

オーストラリアの天然ガス、石炭、南方原油、カナダの石炭、オイルサンド油、天然ガス、ベネズエラのオリノコタル等を積極的に導入すべきであろう。

また、新エネルギーあるいは新燃料油の開発というプロジェクトは一企業単位でなしうるものではなく、国家の重要研究テーマとして長期的観点に立って推進されるべきものであると考える。

#### 参 照 文 献

- 1) 藤田 稔, 燃料協会誌, 66, (3), 170(1987).
- 2) 新畑 康, 藤田 稔ら, オイルサンド油の改質精製(第1報)石油誌, 31, (4), 294(1988).
- 3) 新畑 康, 藤田 稔ら, オイルサンド油の改質精製(第2報)石油誌, 31, (4), 301(1988).
- 4) 新畑 康, 藤田 稔ら, オイルサンド油の改質精製(第3報)石油誌, 31, (4), 307(1988).
- 5) 新畑 康, 藤田 稔ら, オイルサンド油の改質精製(第4報)石油誌, 32, (6), 306(1989).
- 6) 新畑 康, 藤田 稔ら, オイルサンド油の改質精製(第5報)石油誌, 32, (6), 312(1989).
- 7) (財)日本経済研究所, 新燃料油経済性等調査報告書(昭和58年度~昭和60年度).