

## ■ 展望・解説 ■

# 石油代替エネルギー・資源に関わる技術開発と プロジェクトファインディング その2 オリマルジョンの開発, 導入

Technology Research and Development and Project Finding of  
Alternative Energies Part 2 Development and Introduction  
of Orinoco Tar as Orimarsion



竹本 克己\*  
Katsumi Takemoto

南米ベネズエラ, オリノコ河北岸流域に膨大に賦存する天然アスファルトのオリノコタールをC重油なみのハンドリング特性を持たせるべくエマルジョン化した新発電燃料オリマルジョンは, 1991年10月より鹿島北共同火力に, ついで1992年3月には三菱化成水島に導入され, 更には事業用火力の燃料として, 関西電力大阪火力での実証試験が決定され, 北海道電力でも知内 NO.2増設の対象燃料として, 電調審認可となっている。

このオリノコタールに着目した我が国における開発導入の事業者である三菱商事を, 1980年の当初からオリマルジョン誕生までの約6年間, 技術サイドの取りまとめとしてサポートしてきた過程をふりかえりながら, 昨今の地球環境問題が厳しく問われるなかで, エネルギー・資源の開発, 導入について考えてみたい。

なお, 本論中の図表資料は, オリマルジョンの日本および東アジア地区での販売会社として設立された, 三菱商事とベネズエラにおけるオリマルジョンの統括会社であるビートル社との合弁会社MCビートル社より提供願った。

## 1. オリマルジョン最近の開発, 導入状況

### 1.1 最近までの導入状況

すでに導入されているもの, 導入が決定されているものは表1の通りとなっている。

### 1.2 オリマルジョンの生産状況

ベネズエラ国営燃料公社 (PDVSA) 傘下のオペレーション会社としてビートル (BITOR, Bitumenes Orinoco. S. A) が設立され, オリマルジョンの生産から供給までを一貫して行っている。実際の製造そのものは, 採掘後の脱水脱塩とエマルジョンブレッキング

\*ハイウェイ・ツール・システム(株)監査役

〒103 東京都中央区日本橋大伝馬町14-1 住友生命ビル

表1 オリマルジョンの導入状況

会社名	発電所	発電容量	導入時期	年間契約数量
イギリス パワージェン	インス リッチ ポロウ	500MW×2 120MW×3	92年2月	100万トン 50万トン (5年間)
ナショナル	ベンブ ロック	500MW×4	94年初	400万トン (5年間)
スペイン ユニオン フェノッサ カナダ NBP	サボン	350MW 120MW	94年初	100万トン (10年間)
アメリカ TEXACO	ダル	100MW 210MW	95年初	80万トン (10年間)
アメリカ TEXACO	ガス化用 (プエル トリコ) (フロリダ)	(250MW) (500MW)	97年	趣意書 160万トン (25年間)
イタリア ENEL	ガス化用	100MW	96~97年 ガス化テスト	20万トン (5年間)
日本 鹿島北共	鹿島	125MW	91年10月	25万トン (5年間)
三菱化成	水島	70MW	92年3月	30万トン (5年間)

といった処理を一体化させ, またサイトからパイプライン輸送をオリマルジョンにして送るため, 採掘会社であるラゴベン (LOGOVEN) 社に委託して行われている。

なお, 現在は採掘コストを下げるため, 軽油希釈法が採用され始めている。

生産能力は現在年間約600万トン, 21世紀初めには2,000万トンを超える見込み。

技術的なサポートは, 研究機関であるインテベップ (INTEVEP) がオリマルジョンの開発に引き続き行っている。

オリマルジョンの出荷は, 現在は河口から300km

あまり入ったプンタクチージョより出されているが、1994年中には、カリブ海のホテルまでオリマルジョン用のパイプラインが完成、1995年初めより同港より大型船（10～20万トン）での積出しが可能となる。

## 2. オリノコタールの賦存状況と基礎物性

### 2.1 賦存状況

オリノコタール（天然アスファルト）は、ベネズエラの中部を流れるオリノコ河（アンデスならびにベネズエラ南部のロライマ山系に源流をもつ南米第3の大河）の北岸の流域（北緯7～8度、熱帯性気候で乾期雨期がある）約54,000にわたって広がる図-1のオリノコベルトに賦存する。

推定埋蔵量は約1兆2000億バレルと膨大なもので、現在の可採技術での回収率（22%）でみても約2,670億バレル（424億トン）となり、サウジアラビアの原油埋蔵量2,580億バレルよりも大きいものとなっている。また賦存状態も非常によく、現在開発の進んでいるセロネグロ地区では、貯油層は平均1,000メートルにあって、90%以上の確度で掘り当てられており、またオリノコベルト全体での貯油層は600～12,000メートルとなっている。

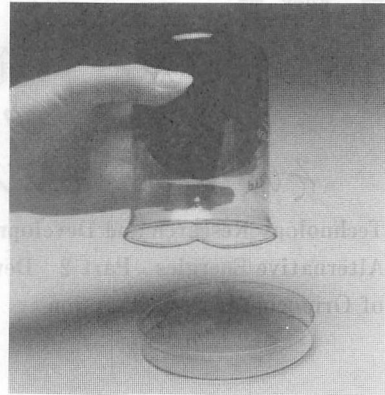


図-1 ベネズエラとオリノコベルト

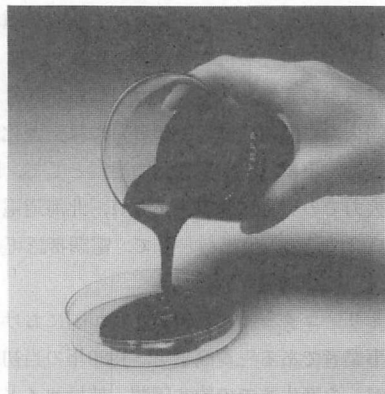
### 2.2 基礎物性

オリノコタールの、当時ラゴベン社より提示された代表的な基礎物性としてはAPI比重 8.5°、流動点25°C、組成分析（wt%）では硫黄 3.7%、窒素 0.6%、残炭13.3%であった。

特徴的にいえば、常温では写真（図-2）のごとく流



天然オリノコ



オリマルジョン

図-2 天然オリノコタールとオリマルジョン

動性がなく、したがって輸送、貯蔵はなかなか難しく、燃焼においてはSO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>、ばいじん対策ならびに高温、低温腐食対策に注意する必要がある天然アスファルトといえよう。

## 3. オリノコタールへの取組みの始まり

### ～直接燃焼利用（生焚き）を前提にして

オリノコタールへの取組みを決めたのは、1980年の夏、はじめて現地に赴いたのはその年の10月のことであった。

1979年の第2次オイルショックによる石油価格の猛烈な高騰は、石油代替エネルギーとその技術開発を、広範囲にかつ大きく加速するものであった。政府も代替エネルギーとその技術開発を政策課題として大きく取り上げ、1980年の10月には新エネルギー総合開発機構（NEDO）が設立されたり、三菱重工業もそれまでに手がけていた石炭液化などを再出発させたり、オイルシェールなどの新たなテーマの取組みにも当たる

こととなった。

しかしながら、一時の興奮が冷めてくると、代替エネルギーとその技術開発自体の意義づけを問い直し始めていた。技術開発とはいえ、第1次オイルショック時に手をつけたものは、すでにほぼ5年経過しておりその技術がいつ日の目をみるのか、誰しもが気になるころであった。

ある石油価格を前提に、その代替エネルギーについて試算したコストでの価格競争力を求め、事業性があるとか、あるとして誰が事業主体になるのか、特に出資要請がついてくる案件では、技術会社である当社にはどういう意義があるのかと、要は投下資金の回収の目処について厳しくチェックされるのであった。

代替エネルギー技術開発は、だいたい大規模で期間もかかるものだ、その波及効果も大きいんだ、それとともに技術開発ができていれば、石油価格が高騰した場合いつでもその代替エネルギーの事業化ができるので、資金の回収もできる、またこれが価格高騰抑止力になるから政府も支援するのだというロジックでは、もう社内を説得できるころではなくなっていた。

こうしたなかで、取りうる選択肢は、石炭であれ、ガスであれ、実際の資源そのものを前提に、その資源の開発、導入にかかわりうる技術を以て、直接的であれ間接的であれ、その開発、導入に参画することであった。

代替エネルギーとして石油系アスファルトの生焚きも始まっていたなかで、当然のこととして重質油、それも超重質油に取り組もう、脱メタルと軽質化の技術開発とプロジェクトも始まっているけれども、技術的にはある程度見通しが立ち、事業化も考え易い直接燃焼、生焚きをベースにしようではないか、ということになった。

それでは何処の資源を対象とするか、環太平洋地域の資源をリストアップの上、ブレインストーミング、その結果、資源的には膨大で何ら心配のない、またOPECとはいえ穏健派のベネズエラのオリノコータルに、それも採掘から輸送、さらにユーザでの燃焼と排ガス処理までの一貫システム、オリノコータル・チェーンとして取り組もう、今後の事業化を考えて三菱商事燃料本部と一緒にやれば良いと、相談がてら燃料本部との打合せに入っていたのであった。

その時、今でも忘れられないことであるが、当時の責任者であった現三菱商事燃料本部担当常務、横瀬一郎氏が「とにかく、石油の埋蔵量統計に入らなくて、

サウジアラビアに匹敵する埋蔵量があるオリノコータルこそ、新エネルギーである。これに取り組みない手はない」と、決断されたのであった。ここに商事重工合同のプロジェクトチームが発足、オリノコータル・チェーンの事前スタディの後、まずは現地調査にとオリノコータルの試験的採掘に当たっていたラゴベン社を訪ねたのであった。

#### 4. オリノコータル・チェーンの提案から オリマルジョンの誕生

この1980年10月の最初のコンタクトから、最終的にはエマルジョン化したオリマルジョンの開発とその導入に発展していくのであるが、この過程は大きく三つの段階に分けられる。

I期は、生タールでのタール・チェーンを前提にしてはいたが、まずはベネズエラならびに日本国内の見込みユーザに提案するとともに、

- ・ サンプルを入手しての基礎物性試験と燃焼試験
- ・ チェーン全体での技術課題の抽出
- ・ 客先ユーザにおけるF/S、導入可能性調査への協力
- ・ ラゴベン社との価格フォーミュラ協議
- ・ IEAならびに我が国政府との非在来原油との認定の取得

等に当たり、タール・チェーン確立のための基本的な事項をつめた段階。

II期は、オリノコータルのエマルジョン化、オリマルジョンの誕生とその確認、

- ・ ベネズエラ・インテベップによるオリマルジョンの開発
- ・ 三菱長崎研究所におけるオリマルジョンの安定性確認と燃焼試験
- ・ 客先ユーザにおける実缶を模擬したパイロットプラントでの燃焼ならびに排ガス確認試験

等が行われ、経済性とも合わせ商業化可能との最終的な確認が行われた段階。

III期は、営業活動ならびに実際の導入のためのインフラ整備の段階。

従い、ここでは技術開発とプロジェクトファイティングということで、IとIIを中心に取り上げてみたい。

##### 4.1 生オリノコータル・チェーンの提案と基本条件の確認 (I期, 1980/10~1982/12)

ベネズエラ国営燃料公社ならびにラゴベン社との、

オリノコタルについての1980年10月の最初のコンタクト、引き続いての1981年3月の詳細現地調査の結果、燃料公社ならびにラゴベン社は、ラゴベン社の鉱区であるセロネグロ地区において、DSMAI期計画として、1988年には日産250,000バレルのタール生産、内田125,000バレルをアップグレーディングし、合成原油としての輸出を計画しているものの、軽質化プロセスは未完成であり、このためユーザの仕様に合わせた希釈原油による輸出も平行して行いたいとのことであった。また実際のタールの採掘は、この段階ではスチームインジェクションによる粘度低下とポンプアップで進められており、そのパイロットプラントがホボ地区に建設され、1981年3月より成功裏に運転が始められていた。

こうした状況であったことから、オリノコタルの生焚きについては強い関心を示し、積極的な協力を約束してくれるのであった。

1981年後半にはサンプルを貰い受け、基礎物性を確認するとともに、生焚きに適した脱セジメント、脱水脱塩法案の目処をつけ、パイプライン、貯蔵、積み込み、輸送すべて60度から80度でのヒーティングをすればサイトから缶前までのタール・チェーンが可能との結論を出すことができた。

一応このタール・チェーンの目処を付けるとともに客先ユーザに提案、これに対して、資源量は魅力的、タールの特性から設備ならびに運転費用は嵩むであろうが、燃料コストでカバーできればいいではないか、資源の多様化は必要なこと、と賛意を表され、具体的なプラントを前提に技術的、経済的な課題抽出と解決策を探るべく共同でのF/Sとなった。こうして、新設700MW 2基の概念設計を行い、高、低温腐食、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>、ばいじん等の技術的事項をつめた上での概算の建設、運転費用を求め、石炭焚きの発電コストとコンペティティブとなるオリノコタルのコストを試算した。

こうした準備をした上で、ラゴベン社との間で価格体系について折衝を開始、最終的には原子力を除く火力、現状では石炭火力と発電コストで競合できる価格とすることで合意。

また一方、このオリノコタルが非在来原油として石油火力新設禁止条項には抵触しないことを通産省ならびにIEA、DOEに要請するとともに、大蔵省関税当局にも説明、折衝の結果、関税品目としては天然アスファルトから水、鉱物質を除去したものと決定を

得、また後刻のことであるが、オリマルジョンは瀝青混合物との認定を得た。

オリノコタルの開発自体については、ベネズエラの経済、財政事情の悪化から心配されるところもあったが、DSMA計画の見直しは主として軽質化のプロジェクトであって、生タールのまま利用しようというタール・チェーンプロジェクトには何ら影響はないとの方針が出され、1985年から50,000バレル/日の輸出可能とのことであった。

こうして、供給問題、価格体系を含め大綱を決めたことから、いよいよ次は実際の導入を前提とした実缶テストの段階に入ることとなった。

#### 4.2 オリマルジョン誕生と実缶テスト

(Ⅱ期、1983/1～1988/12)

いよいよ導入を前提とした実缶テストだと、意気込んでいたものの、幸か不幸か1983～1984年は電力需要の伸びが停滞、オリノコタルの今すぐの導入の見込みはなくなり、今少し原点に立ちかえっての生タール・チェーンの技術的課題への取組みと経済性を追求する時間的余裕が出てきた。今から見た結果論ではあるが、

それはまず何よりも高粘度問題であった。流動点20℃の高粘性のためタール・チェーン全体にわたって80℃前後に保持しなくてはならなかった。技術的には可能であるものの、なによりも経済性を損なわせるものであった。

ここに関係者によるディスカッションのなかから、このオリノコタルの競合燃料が石炭であり、その石炭を流体燃料化するべくCWM(コールウォータミックスチャー)の研究に鋭意取り組んでいることもあって、ごく当然のこととしてタールの水エマルジョン化の方向が打ち出され、三菱サイドにおいてもエマルジョン化の研究がスタートしたのであった。

一方、ベネズエラ・インテベップにおいても、後から判明するところであったが、すでに1980年頃より研究が開始されていた。

こうして1983～1984年は、タール・チェーンそのものについては、これまでの合意事項の確認、一般産業用燃料ならびに生焚き以外のガス化レトロフィット、ガス化コンバインド等への利用の可能性調査に当たるとともに、生タールの基礎燃焼試験でC重油なみの燃焼性、排ガス対策の目処をつけるとともに、エマルジョン化の研究などに当たっていたが、1985年に入り電力需要も上向き、いよいよ具体的に動き出すこととなっ

た。

まずラゴベン社より、オリノコータルをとにかく輸出することが国策上最重要案件、セロネグロ地区での商業生産（27,000バレル/日）の開始、水エマルジョン化の技術はほぼ完成、実缶テストに協力する用意ありとの積極的申し出あり、一方日本サイドにおいても、客先ユーザにおいて具体的立地にもとづいてのF/S、三菱重工長崎研究所700リッター炉による燃焼試験（1986/4～1987/2）、客先ユーザにおける15トン/時のボイラーと排ガス処理装置一式を新設してのパイロットプラントによる実缶運転を模しての試験（1988/10～1989/8）へと発展していったこの展開のなかでオリノコータル水エマルジョン（これをオリマルジョンと命名されて）がラゴベン・インテベップより提示され、重工研究所における2トン炉によるオリマルジョンはじめての燃焼試験（80トン消費）となった。この試験はまた単に燃焼試験にとどまるものではなく、船舶輸送ならびに貯蔵時のオリマルジョンの安定性、ハンドリング性を実証するものであった。もちろんこれに先立って、ラゴベン社自身による輸送、貯蔵試験を三菱サイドからの条件提示のもとで行った上でのことであったが。

こうして待望のオリマルジョンのドラム缶200本が長崎に送られてきた。ラゴベン、インテベップの関係者もやってきて、関係者注視のなかで開かれた。一部には分離、粒塊が認められるも、三菱サイドCWM研究者のアドバイスもあって、何ら問題なく燃焼試験に入ることができた。この過程で三菱サイドが無断でオリマルジョンを手に入れたとのクレームが出された場面もあったが、とにかくオリマルジョンを成功させよう、以後は守秘と信義にもとづくということで、試験へと進んでいった。なお、オリマルジョンの粒塊の不具合は以後ラゴベン、インテベップサイドで手を打ち一切なくなった。

この長崎研究所での燃焼試験はいうまでもなく成功裏に終了、排ガス対策等の目処も付け、技術的には何ら問題のない新発電燃料であることを確認、客先ユーザによる実缶を模したパイロットプラント試験にと進むことが出来た。

ほどなく行われた、客先ユーザ新設の15トン/時のボイラーならびに総合排ガス処理装置を持ったパイロットプラント試験において、超臨界圧ボイラーにおけるバナジウムによる高温腐食対策と脱硝装置等の環境対策設備性能等も見極め、新発電燃料として使用しう

ることを実証したのであった。

### 4.3 オリマルジョンの概要

オリマルジョンは、生オリノコータル70%に清水30%とノニエル・フェノール・エトキシレート系の界面活性剤と硝酸マグネシウム系の添加剤を加え、ミキサーにて混合して製造、ハンドリング上の管理温度は5℃～75℃、他油種との混合（許容量3%以下）と高剪断力負荷を避ける必要がある。こうした通常の場合、1.5年以上の輸送貯蔵の安定性は確保でき、オイルタンカー輸送が可能。

ここに今日現在公表されているオリマルジョンの標準性状を表2に、組成分析を表3に、製造フローを図3に紹介する。なお、採油はこのフローからも窺えるように、従来のスチームインジェクションに加え、必要に応じて抗底に界面活性剤を注入、エマルジョンにしてポンプアップしている。この場合脱塩、脱水のためのエマルジョンブレイクは、ヒーティングと機械的な力の攪拌によっているが、最近ではコストダウンの

表2 オリマルジョンの標準性状

項目	単位	標準性状
水分	%	27-31
密度	GR/CC15°C	1.012-1.0025
流動点	°C	2-5
粘度	CPS, 100SEC <sup>-1</sup> , 30°C	900以下
中心粒径	μm	30以下
総発熱量	Btu/lb	12690以上
真発熱量	Btu/lb	11700以上
150 μm 超粒径比率	wt/%	3以下

表3 オリマルジョンの標準組成

項目	単位	分析
組成分析		
炭素	%	55.0-61.9
水素	%	10.1-11.3
酸素	%	25.1-29.1
窒素	%	0.42-0.50
硫黄	%	2.4-2.9
金属等		
バナジウム	ppm	280-360
ニッケル	ppm	66-86
鉄	ppm	7-8
ナトリウム	ppm	80以下
マグネシウム	ppm	0-500
アスファルテン	wt%	6.40-9.50
灰分	wt%	0.04-0.25
残炭	wt%	8.40-11.16

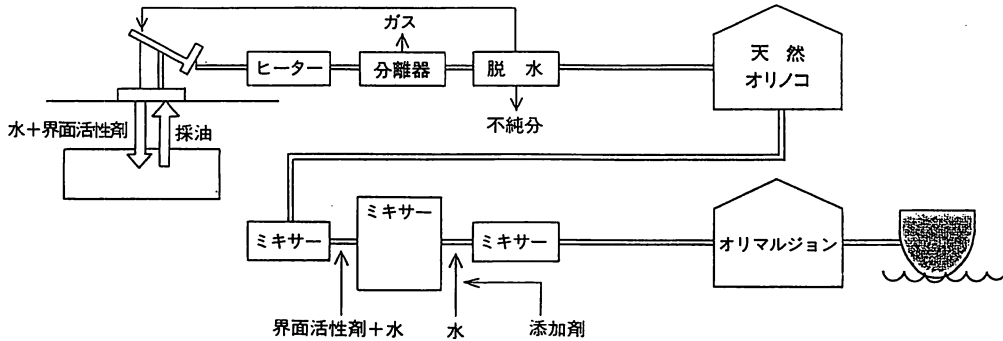


図-3 オリマルジョンの製造フロー

ため、軽油希釈法に変わりつつある。

## 5. オリマルジョンの開発導入

### オリノコータル・チェーンの確立をめざして

オリノコータル・チェーンの確立をめざして、オリマルジョンの開発・導入に鋭意取り組んだのであったが、エネルギー・資源関連の技術開発とプロジェクトファイナディングに携わっていて、いつも感じるのは何といっても、長い年月がかかり、従いこの間いろいろのことが起こってくる。金と人が予定以上にかかってしまい、苦しい立場に立たされることもしばしばである。このオリノコータルの場合においても、油価の下落からベネズエラにおけるオリノコ開発が見直しされた際、いろいろ気をつかい、生焚きは非常に有望であると何回か説明、説得にあたった。日本サイドにおいても電力需要の伸びがダウンし、計画がスローダウン気味になった時、やはり同じようにベネズエラサイドの不安解消にいろいろ気を使った。

一番難しいのは身内であるけれども、資源国サイドにおいても、客先ユーザにおいても理解と協力をうることに、信頼関係が必要不可欠である。このためには何事が起こっても、じっと耐え忍び、持ち堪えることこれが信頼を勝ち得ることに通じる。

いい種といい土壌を見つけ芽を出させるまでが大事である。芽が出て大きくなり始めると、自然と人が集まってきて、いろいろの手は打てるようになる。

オリマルジョンも動き始めるまでには、8年から9年かかり、さらに実際の営業運転への導入には2年ばかりかかっている。

ータル・チェーン、採掘サイトからボイラーならびに排ガス処理までのチェーンである以上、特にそうであるが、まず技術の面においては、一つの要素技術、

一つの製品技術が欠けてもチェーンは成り立たなくなるし、これを総合的なトータルシステムとして纏めていかななくてはならない。必要なのは技術のみではなくたとえ非在来原油、天然アスファルトという認定の取得がなくては、このプロジェクトは成り立たない。一つの局面、一つの側面への配慮とともに全体を総合的に捉えていくこと、それができる組織と人があって初めて成就する。

特に資源にかかわる以上、あたりまえのことであるが、どこのどの資源を、どこでどう利用したいのかははっきりしていないと、技術開発は出来上がったとしても、その具体的な資源には技術的に適用できないこと、またできたとしても社会的に経済的に難しいことになることが多い。

オリノコータル・チェーンはオリマルジョンとして関係者の英知と努力によって日の目をみることができた。エマルジョン化した液体燃料としての重油なみの特性を持たせることができた。直接燃焼における排ガス処理にも環境対策としての万全を期すこともできる。地球環境問題としては、発電効率を大幅に引き上げられるものとしてガス化複合発電が期待されているが、これが燃料としても、このオリマルジョンは期待される。重質油ガス化を挙げてもなく、同種の実績は数多くある。

我が国にとっては、エネルギー資源はこれからも安定的に確保して行かねばならない。このオリマルジョンがますます大きく導入され、安定的供給はもちろんのこと、ガス化複合発電等の燃料としてエネルギー効率向上に大きく貢献するようになるとともに、当時から手がけ始めていたことであるが、我が国と同様の立場にある東アジア地域諸国のエネルギー事情の好転に資するようになることも念じて終わりとした。