

# オイルシェール資源の開発と展望

オイルシェール事業室\*

## はじめに

オイルシェールは、通常の石油系溶剤では抽出できない有機物であるケロジェン(Kerogen)を含む堆積岩である。これを常圧下、摂氏 500~550°C にて乾留することによりケロジェンが分解し、天然石油に類似したシェールオイルを回収することができる。

オイルショック以降、わが国においても石油に代わるエネルギーの開発が急務とされ、オイルシェールは石炭のガス化・液化、バイオマス、ソーラ利用、タールサンドなどと並んで官民一体となつての積極的な研究への取り組みがなされている。他のエネルギー源と比較してオイルシェールは、油の回収が比較的容易であること、回収されたシェールオイルが天然石油に比べ灯油留分が多いことなど、技術的、経済的に優位にあり、実用化の先陣をきることが期待されている。

石油公団では、昭和 56 年度から、通産省資源エネルギー庁の委託を受け、「オイルシェール開発技術等研究調査」を開始するとともに、オイルシェール事業室を設置し、オイルシェール開発技術に関する調査研究の実施ならびにオイルシェール開発プロジェクトのフィージビリティ・スタディを行なっていくこととなった。

ここではオイルシェール資源の開発に関する展望と、わが国で行なわれている研究開発の現況についてまとめる。

## 1. オイルシェール資源とその開発

### (1) オイルシェール資源の特徴

オイルシェールは石油類に分類されるが、石油のように液状で存在するものではなく、ケロジェンと呼ばれる藻類、動物植物プランクトンなどを起源とする有機溶剤不溶性有機物を多量に含む堆積岩である。石油や天然ガスは、このようなものが長い時代を経て熱および圧力の影響を受けつくり出されたものであるのに対し、オイルシェールは、十分な熱や圧力を受けることがなかったため、ケロジェンが変化せず岩石中に残っているものである。ケロジェン含有量の多い堆積岩を乾留すると液状およびガス状の炭化水素類を生ずるが、通常約 0.25 バレル/ton 以上の液状炭化水素類を生ずる頁岩をオイルシェール(油母頁岩)という。

石油代替エネルギー資源の中でのオイルシェールの特徴として、第一に挙げられるのは、石油資源が一部の特定の地域に偏在するのに対して、オイルシェール資源は広く世界的に分布していることである。また、その資源は豊富で、埋蔵量は石油のそれに匹敵すると云われており、将来の人類の活動のための有力なエネルギー供給ソースとなり得るものである。

第二の特徴は、オイルシェールは、直接的に石油に代替しうるものであることである。オイルシェールは、常圧で触媒を使わずに比較的容易に乾留することができる。乾留により回収したシェールオイルは、一般的には流動点が高く、高粘度であり窒素などの不純物含有量が多いが、改質することにより、残渣油の少ない軽質の油(ジェット燃料や灯油に近い石油製品)

\* 執筆は合田純一(石油公団オイルシェール事業室調査役)が行なった。

図1 300 ton/day バイロットプラント完成予想図（北九州市新日本製鐵八幡製鉄所構内）

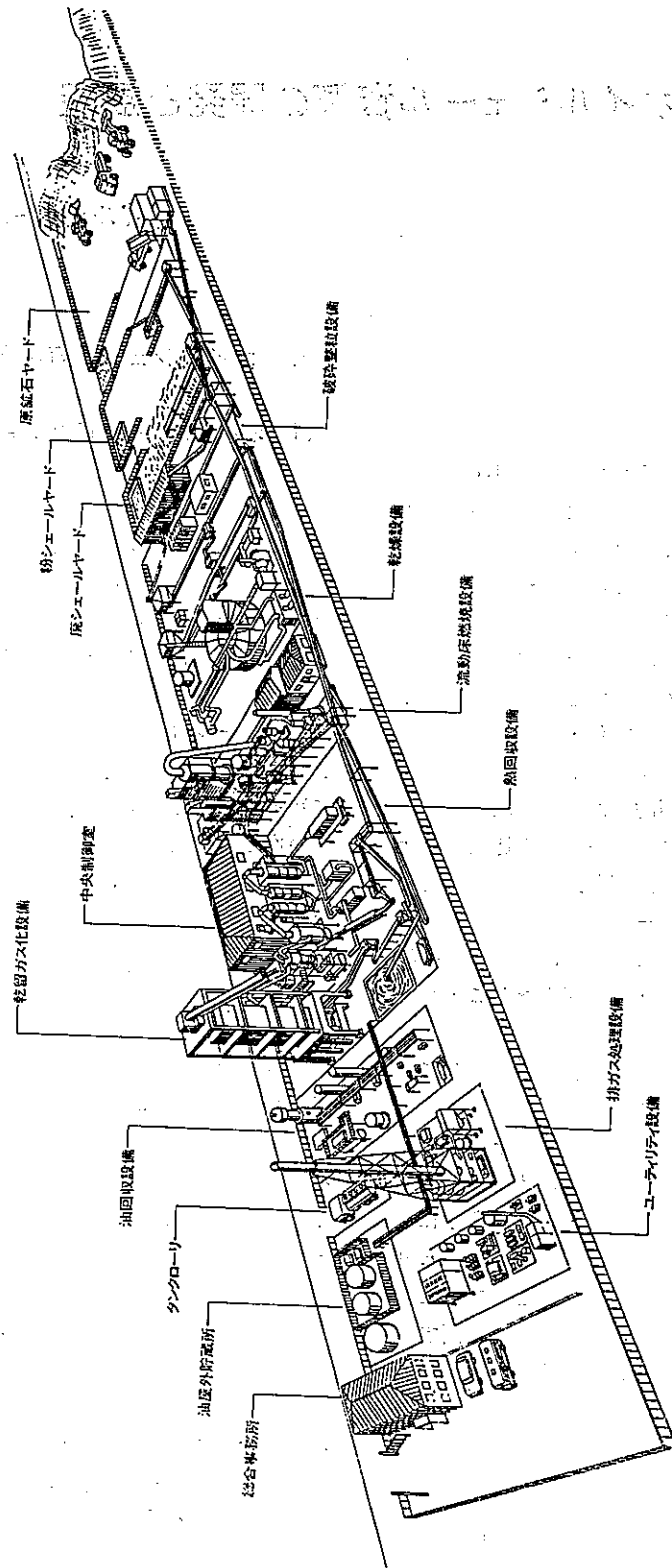
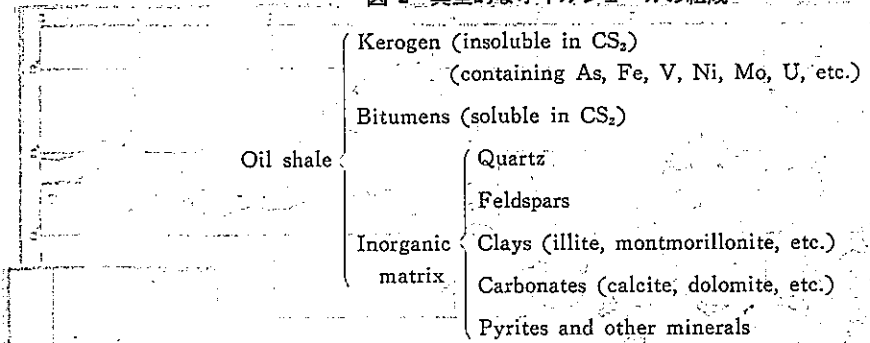


図2 典型的なオイルシェールの組成



を得ることができる。

一方、オイルシェールは石炭のように固体状態で地下に賦存している頁岩であり、それから重量比で5~10%程度（高品位のものは20%以上のものもある）の油状またはガス状の炭化水素しか得られない。このため、これを地下から採掘し、乾留等のプロセスを経て、油を回収するために大量の鉱石をハンドリングしなければならない。それに加え、処理後の廃シェールの廃棄に伴う環境面への配慮を加えると、コスト条件はかなり厳しいといえる。

## (2) オイルシェール資源の開発動向

### ① オイルシェールの埋蔵量

世界のオイルシェール資源は豊富であり、正確な調査は行なわれたわけではないが、世界エネルギー会議などの資料によれば、原始埋蔵量として油換算3.5兆バレル分もあるとされており、ほぼ石油の埋蔵量に匹敵する。また資源国としては、アメリカ、ブラジル、ソ連、中国、アフリカ大陸、オーストラリアなど広く全世界に分布している。図3にオイルシェール埋蔵量地域図を、表1に主要国のオイル資源の状況を示す。アメリカを除き、世界的に詳細な探査が十分行なわれているとはいえず、今後の技術の進歩、探査の進行に伴い埋蔵量が増加する可能性は大きい。

### ② 世界のオイルシェールの開発状況

今から800~1000年前、中国撫順地区において、オイルシェールは陶器を焼くための燃料として採掘されていた。また、400年前のドイツ

で、硫黄を含むオイルシェールから皮膚病を治す薬品（イクタモール）を取り出したことも報告されている。工業的には、1830年から、鯨油と同じ照明用の油を生産するため、スコットランド、ドイツ、フランス、スウェーデンなどの国で、50以上の小規模なオイルシェール工場が建設された。1870年以後、天然石油の発見に伴い、シェールオイル工業は停滞状態に陥った。第一次世界大戦中スコットランドにおいて、シェールオイルが大量生産されたが、大戦終了後、再び停滞状況となった。

わが国でも、第二次世界大戦前、中国の撫順で露天掘炭層の上盤に大量に賦存するオイルシェールを利用するため、1920年から1930年に亘って何回かの試験を行なった後、シャフト炉型乾留炉を完成、シェールオイルの工業生産を始めた。終戦までに100~200t/dの乾留炉200基が完成し、当時のシェールオイルの最大年間生産量は25万tonに達した。その技術は戦後、中国側に引き継がれ、撫順での露天掘りオイルシェールの生産が再開された他、吉林省樺甸、広東省茂名においてもシェールオイルの生産が行なわれた。現在も世界唯一の工業生産を撫順、茂名で続けている。

1973年の全世界的なエネルギー危機以来、各国は新しいエネルギー源を追求して来ており、オイルシェールに対する取組みも活発になった。しかし、ここ数年来の石油供給過剰と油価低下に伴い、開発意欲がややスローダウンしている。各国の現状について以下に述べる。

図3 オイルシェール埋蔵量地域図

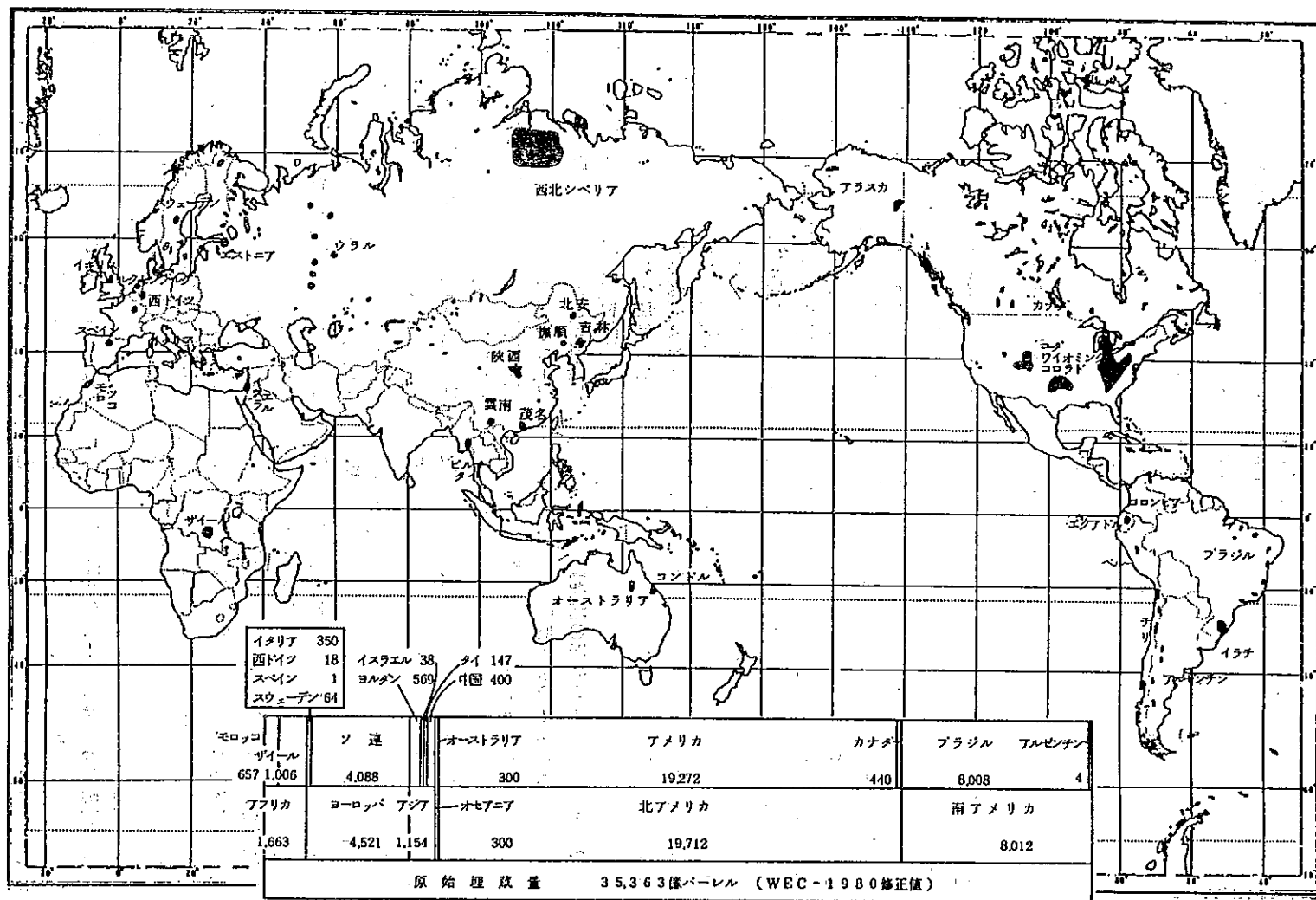


表1 主要国のオイルシェール資源

国名	原始埋蔵量 (億bbl)	現 状	主要プロジェクト
アメリカ	20,000	西部に世界最大の Green River 層があり、(可採埋蔵量800億バレル)、品位は高く(10~25%程度)、層も厚いが露天掘り区域は極めて限られており、坑内採掘が中心。 東部は品位が低く、層も薄い。 リース制度、環境規制及び水の確保等に問題が多い。	Seep Ridge : Geokinetics社による In-Situ法の研究開発。1976年に開始。1,000t/d規模。現在までに135,000バレルのシェールオイルを生産。 Union Parachute Cleek : 1955年以来研究開発を行ってきた。 坑内掘り、450万t/年。 乾留能力 10,000b/d。 商業化に向けて試運転中。SFCが価格保証を行っている。保証価格 55\$/b
ブラジル	8,000	全域に分布しているが、特に大西洋岸側にサンパウロからウルグアイ国境に続く大規模鉱床が存在。 このうちの一部が Irati 鉱床であり、その開発対象の原始埋蔵量は27億バレル。品位6~10%。	Irati : 乾留は実証試験段階。1,600t/dの規模。1972年以来430万tの鉱石を処理、170万バレルのシェールオイルを生産。商業プラント(建設中)の採掘量280万t/年(露天採掘)乾留能力2,600b/d(鉱石処理5万t/d)。コスト見込み35\$/b。
オーストラリア	170	大規模鉱床のほとんどはクィーンズランド州にある。 可採埋蔵量は、コンドル80億バレル(品位7%)、ランドル26.5億バレル(品位10%)、ジュリアクリーク15億バレル等。コンドル鉱床が最大。	コンドル及びランドル : 試験採掘にとどまった。
ソ連	4,000	最大規模のものはエストニア及びレニングラード地方にある(原始埋蔵量113億t)。特にエストニアの鉱床は高品位の優良鉱床である(品位18~25%)。	エストニア及びレニングラード : 採掘量は3,600万t。ほとんどは発電用生炭きであるが、一部を乾留試験中。
中国	1,100	全域に広く分布。 大規模鉱床 : 撫順(可採埋蔵量36億t)、茂名(同42億t)共に露天採掘。 中規模鉱床高品位鉱床 : 竜口(品位20%)。石炭に副産。	採掘規模 撫順(700万t/年、茂名350~400万t/年)共に乾留竜口(50万t/年)…発電用生炭き
モロッコ	660	Timahdit(品位10~20%)、Tarfaya(10%)、Tangier 等の大規模鉱床あり。	Timahdit : 80t/dのプラントを建設。デモンストレーションプラント、さらには商業プラントも計画されたが、現在トングダウンしている。
イスラエル	38		Rorem : 1,000~2,000t/dのデモンストレーションプラントの計画あり。

### 1) アメリカ

世界最大の埋蔵量を持っており、開発は19世紀から断続的に行なわれてきた。オイルショック後、政府が支援するようになってから、技術開発や商業化プロジェクトの計画が盛んになった。特に Union Oil 社西コロラドプロジェクトでは、10,000b/d の実証化プラントを建設し、本格運転に向け、試運転続行中である。また地層内乾留法については、1,000b/d 規模の試験が、Geokinetic 社により実施されている。1986年2月、それまで代替燃料の開発に資金的援助を与えて来た、合成燃料公社 (SFC) の廃止が決定されたこともあり、今後の開発はやや減速せざるを得ないと思われる。

### 2) ブラジル

自国技術によりプロセスの開発を行なっており、イラチ鉱床を開発の中心としている。1972年、700b/d のデモンストレーションプラントを建設し、現在も連続操業を続けている。1987年に2,600b/d の商業プラントを稼働させることを目標に建設を行なっている。

### 3) オーストラリア

クィーンズランド州を中心に大規模鉱床を持っており、コンドル・ランドル等の鉱床を対象に民間企業を中心となって、フィージビリティスタディが行なわれた。コンドルプロジェクトには、石油公団および民間各社が出資している、日豪オイルシェール (株) (JAOSCO) が参加した。フィージビリティ・スタディは完了したが、石油価格低落もあり、プロジェクトはその後進行していない。

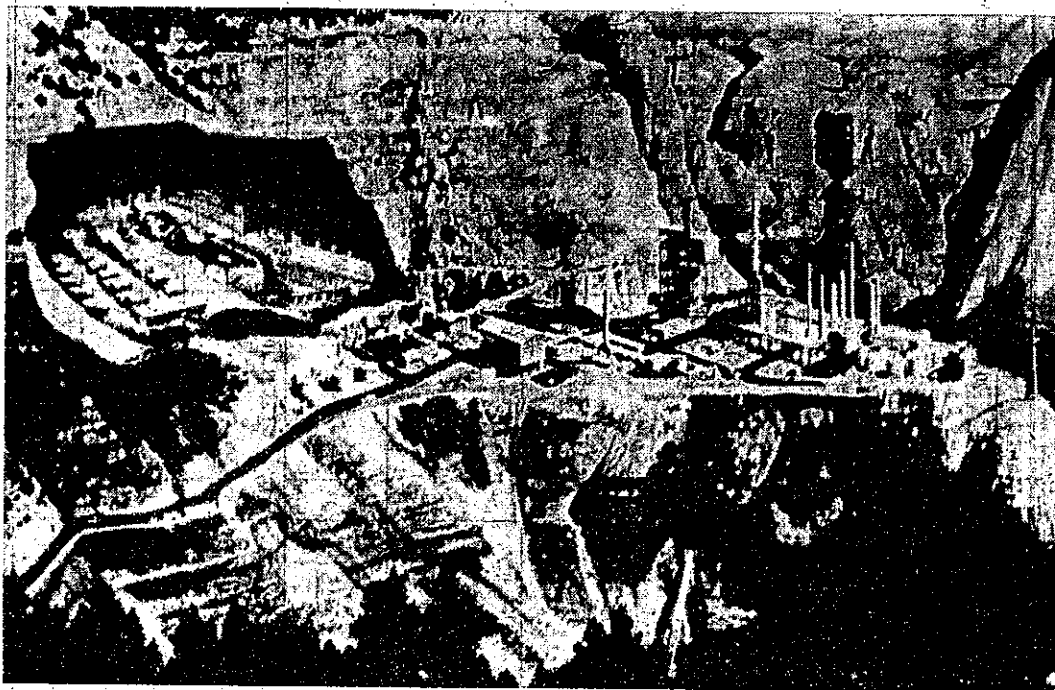
### 4) 中国

戦前の日本技術を引き継ぎ、撫順で700万t/年、茂名で350~400万t/年の生産を行なっている。長期的な石油資源確保、石炭採掘により副生するオイルシェールの有効利用のため、効率の良い新技術が出て来れば、なお一層の増産をしたいとの機運が動いているようである。

### 5) その他

ソ連のリトワニア地方では古くから大量のオイルシェールを採掘し、固体のまま発電燃料として使用していることが知られている。シェー

図4 ユニオンロングリッジプロジェクト計画図



資料: Union Oil Company

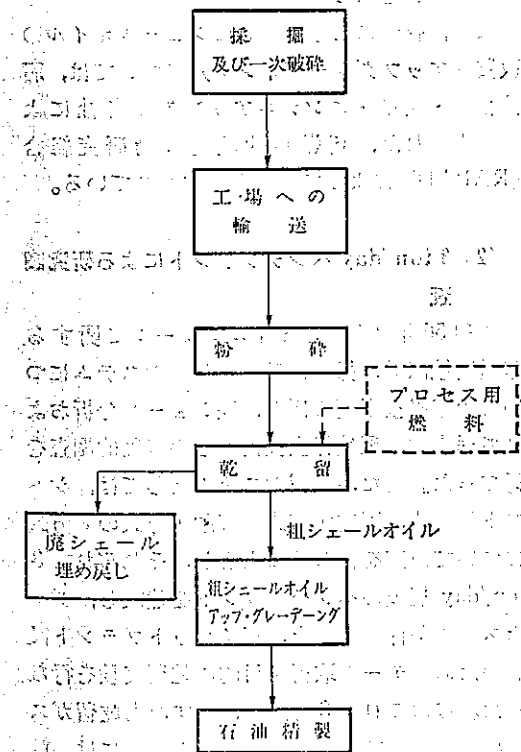
ルオイルの回収プラントも建設されたとのニュースもあるが詳かでない。モロッコ、イスラエルなど石油資源がなく、オイルシェール資源がある国では、自国資源の開発という観点から強い関心を持っており、パイロットプラントを建設するなど、検討を進めている。

### (3) オイルシェール乾留技術の概要

オイルシェールの開発のためには、図5に示すフローの通り、採掘、一次破碎、鉱石輸送、粉碎、乾留、粗シェールオイルの改質 (アップグレーディング)、廃シェールの埋め戻しその他に伴う環境保全などのプロセスを確立させる必要があるが、中でも乾留技術は、プロセス全体の経済性、有意性を決定する最も重要なものであり、古くから各種方式での研究が進められている。

オイルシェールの乾留方法には、オイルシェールを採掘し、地上の乾留装置によって乾留する地上乾留法と、地層内に着火して炉を形成し、

図5 オイルシェールの抽出工程



直接に乾留する地下乾留法 (In-Situ 法) がある。これらの乾留法はさらに、次のように分類される。

### 地上乾留法

○外部加熱方式……乾留炉の側壁を通して、外部から間接的にオイルシェールを加熱し乾留する。シェールの品質評価に用いられるフィシャ・アセイ法 (Fisher Assay) が本方式に相当する。一般的に本方式は商業プラントとしては経済的でない。

○内部燃焼方式……オイルシェール中の可燃分の一部を炉内で燃焼させ、発生した燃焼ガスの熱により乾留する。この方式には、中国撫順式乾留炉 (シャフト炉)、アメリカ Paraho プロセス (シャフト炉)、アメリカ Dravo プロセス (サーキュラーグレート) などのプロセスがある。本方式はレトルト建設費は比較的安価であるが、炭化水素の収率はやや低い。

○乾留ガス外部加熱方式……乾留炉の外で加熱したガスを熱媒として供給し、オイルシェールを乾留する。この方式には、ブラジル Petrosix プロセス (シャフト炉)、改良 Paraho プロセス (シャフト炉)、アメリカ Union プロセス (異型シャフト炉) などがある。本方式は外部加熱のために熱交換器または加熱炉を必要とするため設備費はやや高くなるが、乾留ガス中に燃焼ガスを含まないため、炭化水素の回収率は高い。

○固体熱媒方式……外部で加熱した固体を熱媒として、粉碎したオイルシェールと混合し、加熱・乾留を行なう。この方式には、西ドイツ Lurgi-Ruhrgass プロセス (二軸スクリーン混練機、熱媒体に乾留後シェール (粉) 使用)、アメリカ Tosco-II プロセス (トロンメル炉、熱媒体としてセラミックボール使用) などのプロセスがある。

### 地層内乾留法

○垂直地層内乾留方式……地表から所定の深度までのオイルシェールを爆砕して、その上部に着火することにより、地層内に乾留炉を形成し、その燃焼熱により、下部のオイ

ルシェールを乾留する。アメリカの Occidental社によりテストが行なわれている。

○水平地層内乾留方式……オイルシェールの爆砕によって形成した地層内の乾留炉の横端に着火し、水平方向に乾留ゾーンを移動、加熱させることにより乾留する。アメリカの Geokinetic 社により研究されている。

なお、地上乾留法については、上記の他、水素化乾留、水素化供与溶媒抽出、水素雰囲気乾留、超臨界抽出法など、オイルシェールからの油の回収率を飛躍的に高める方法や、選鉱乾留のように、多量の岩石のハンドリングを避けるため、比重や浮選分離によってケロジェン含有量の高いもののみを選鉱する方法などが、次世代乾留技術として試みられている。

## 2. 日本における技術開発への取り組み

### (1) 経緯

わが国のオイルシェール開発技術は、戦前撫順において完成され、商業生産にまで発展したが、その後は全く研究されていない。オイルショックを契機に、新たな石油に代るエネルギー源の一つとしてオイルシェールの開発が脚光を浴びるようになった。

国内に資源を持たないわが国がオイルシェール開発に取り組むに際しては、その鍵である開発技術について、世界的に高いレベルのものを確立し、その技術を背景として、資源保有国での開発に参加する機会を獲得する必要がある。独自技術の開発にあたって、

- ① 技術面での蓄積に乏しい
- ② 開発のために巨額の資金を必要とする
- ③ 関連する業界が多岐にわたる

などの点を勘案すると、短期間で効率的に技術開発を進めて所期の成果をあげるためには、国の先導的な立場での推進の必要が認識され、石油公団が中心となって研究を行なうこととなった。

計画の具体的実施にあたっては、製鉄・重機・プラント・資源採掘・セメント・石油精製・商社など、日本の有力企業 36 社がジョイント・

ベンチャーとなって、「日本オイルシェールエンジニアリング株式会社 (JOSECO)」を設立し、昭和 56 年度から 5 年間の予定（その後 7 年間に延長）で、採掘から乾留および油回収、熱回収、更に環境保全技術までの、トータルシステム技術開発を進めることとした。

オイルシェール技術の研究開発のベーシックフローを図 6 に示す。本技術開発は、次の 2 つの段階に分けて行なわれる。

- ① 第 1 期：基礎的調査および 3ton/day ベンチプラントによる研究調査（昭和 56 年度～昭和 58 年度）
- ② 第 2 期：300ton/day パイロットプラントによる研究調査（昭和 58 年度～昭和 62 年度）

前者については、約 40 億円の全額が国からの（石特会計）委託費で実施された。後者には総額約 100 億円の費用が見込まれているが、そのうち 75% は石油開発技術振興費からの（石特会計）交付金でまかなわれ、残りの 25% は JOSECO 社の株主である民間 36 社が資金を分担することとなっている。

なお、乾留により生成したシェールオイルの改質（アップグレーディング）については、石油精製・発酵・エンジニアリングの各社により設立された、新燃料油開発技術研究組合 (RAPAD) によって研究が行なわれている。

### (2) 3 ton/day ベンチプラントによる研究調査

昭和 56 年度から、オイルシェールに関する基礎物性試験、採掘、破碎、乾留システムについての基礎技術調査研究、廃シェール分析および処理方法、環境保全技術などの基礎的調査を行なった。また、乾留システムとしては、シャフト炉方式、固定床方式、移動床方式の 3 方式について研究を行なうこととし、それぞれ、3 ton/day 規模のベンチプラントを建設し、プロセス基本条件の確認と、パイロットプラント設計のためのデータ取得を目的に乾留実験を行なった。なおこれら 3 方式は、いずれも乾留ガス外部加熱方式であり、乾留ガスの加熱には、乾

図 6 オイルシェール技術研究開発のベーシック・フロー

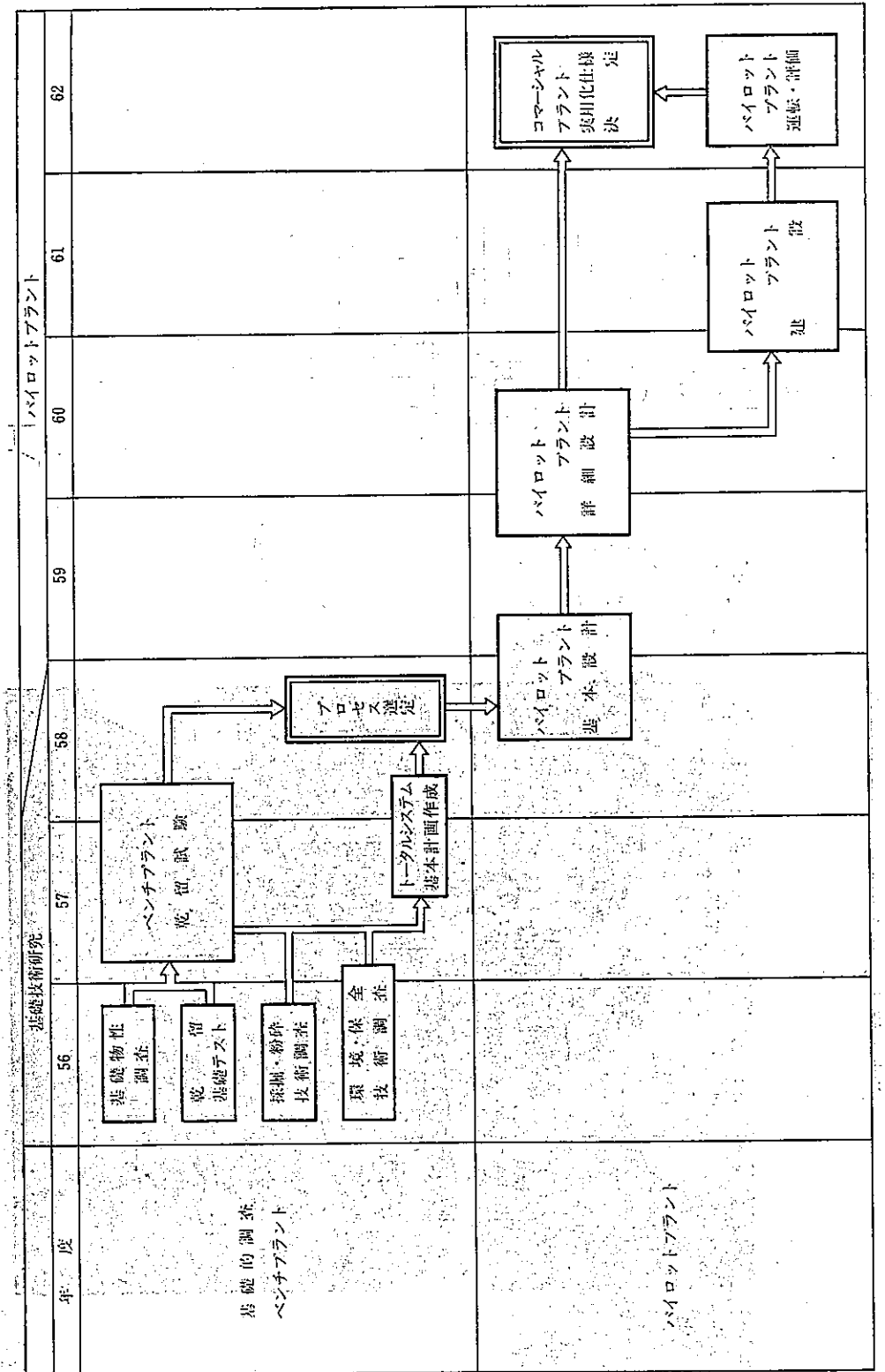


図 7 シャフト炉方式 (外部加熱方式) — 新日本製鐵 (株) : 戸畑

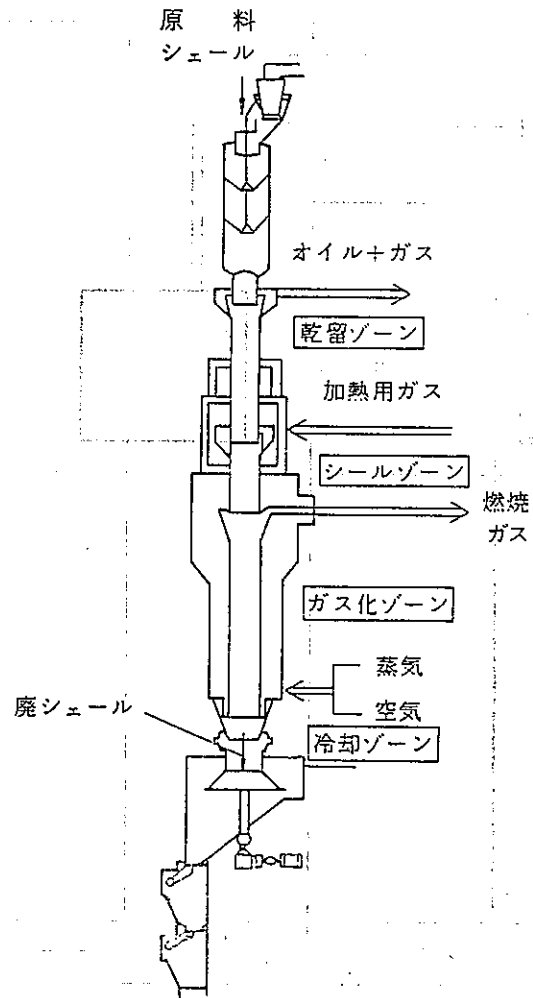
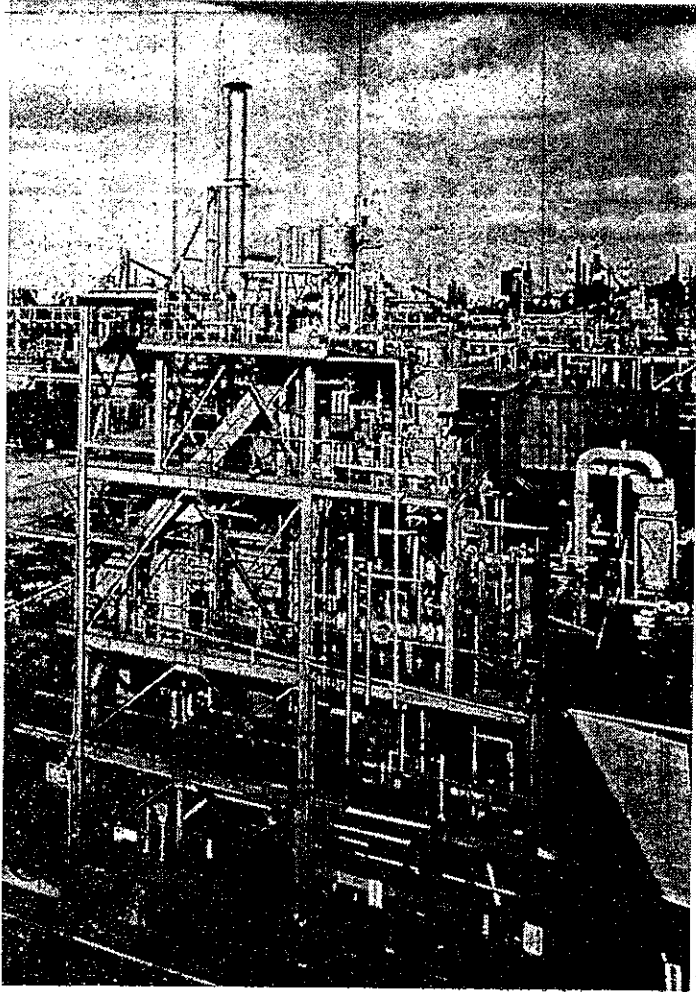
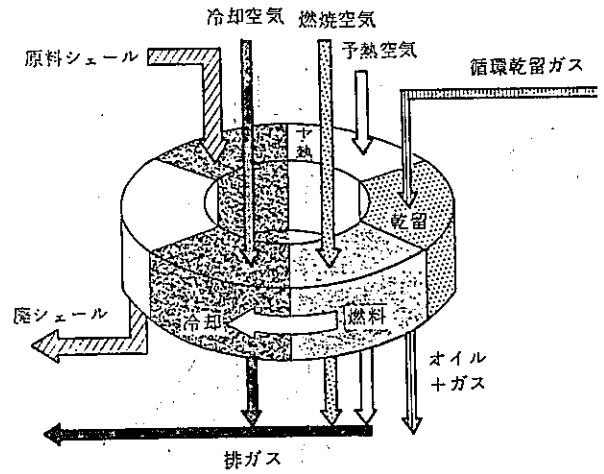
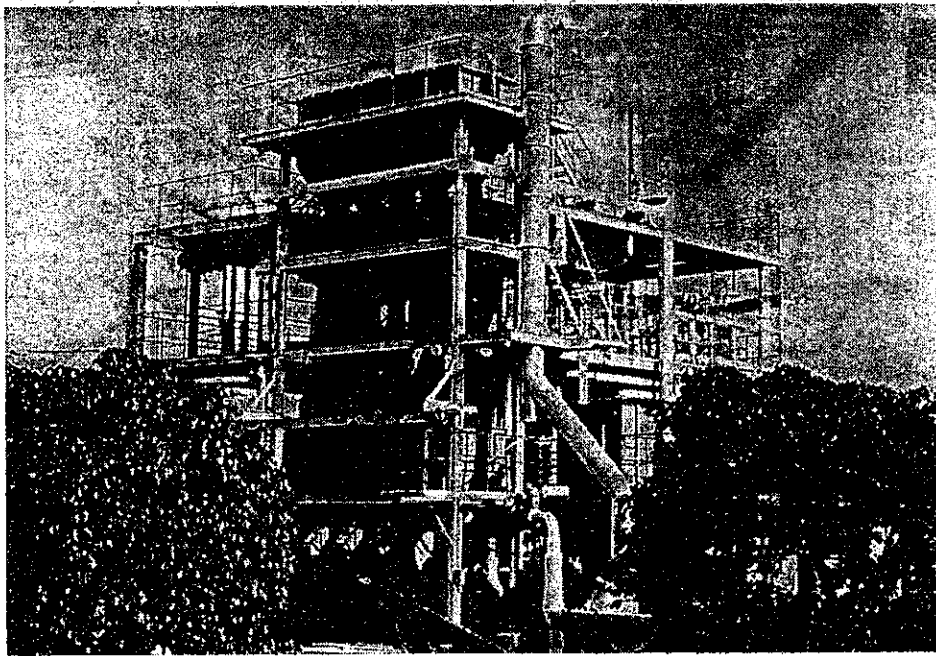


図 8 固定床方式 (外部加熱方式又は一部直接燃焼方式) — 三菱重工業 (株) : 広島



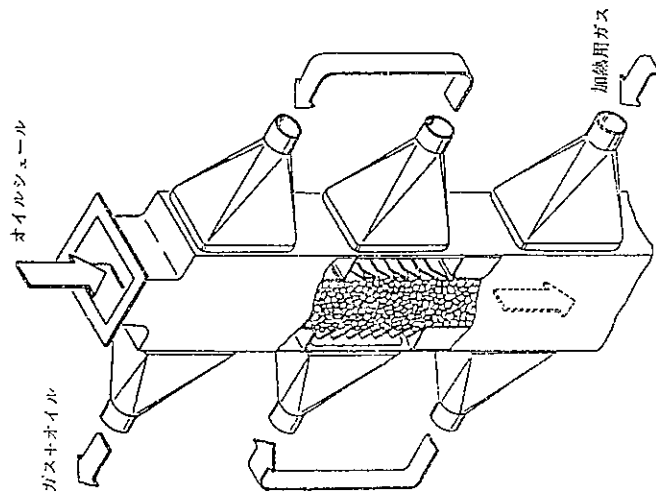


図 9 移動床方式 (外部加熱方式) — 日本鋼管 (株) — 京浜

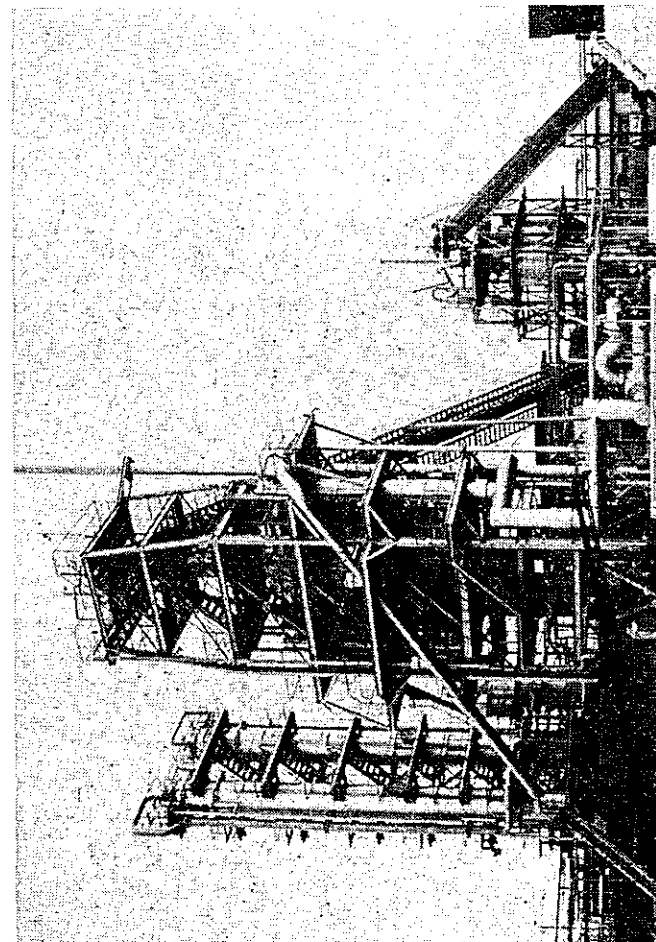


表 2 各方式の主な特徴

シャフト炉方式	固定床方式	移動床方式
①構造が簡単 ②装入シェールの水分変動等の外乱に対し、操作上安定 ③シェールとガスの対向流により熱効率が良い	①各プロセス機能を分離し、自由にゾーニング出来る ②各ゾーンでの操作条件の調節が可能 ③シェールの充填層内移動がないため、粉化等による問題が少ない ④シェールの排出が簡単なリンク構造で出来る	①乾留ゾーンのガス圧力損失が小さい ②残留炭素の燃焼効率が低い ③粉シェールを流動床炉で燃焼することで熱利用できる

留後シェールの中の残留炭素を燃焼して得られる熱を使用する。

① シャフト炉方式 (図 7)

この方式は、新日本製鉄 (株) チームが中心となって試験研究を実施した。

シャフト炉を、ガスシールドゾーンを介して乾留ゾーンとガス化ゾーンに分離する。乾留ゾーンでは、下降するオイルシールドに対し、底部より加熱用ガスを導入し、オイルシールドを乾留する。乾留ゾーンよりの乾留後シェールは、ガス化ゾーンにてその中の残留炭素が燃焼され、高温の燃焼ガスを得る。

② 固定床方式 (図 8)

この方式は、三菱重工 (株) チームが中心となって試験研究を実施した。

円周方向にエンドレスに移動するグレート (サーキュラグレート) にオイルシールドを充填し、グレートが 1 回転する間に、回転面と直交するように導入された。ガス/空気により、予熱、乾留、燃焼、冷却を行なう。

③ 移動床方式 (図 9)

この方式は、日本鋼管 (株) チームが中心となって試験研究を実施した。

炉内で対面するルーバーの間をオイルシールドが下降し、加熱用ガスはルーバーを通じて、水平方向に導入され乾留が行なわれる。乾留後シェールの燃焼は別途流動層燃焼炉で行なう。

以上 3 方式の主な特徴を表 2 に示す。

ベンチプラントによるテストには、主として、米国のコロラド、モロッコ、オーストラリアコンドルおよび中国の茂名のオイルシールド

鉱石を使用した。そのテストの結果、上記 3 方式はいずれも円滑な乾留に成功した。

またこの 3 方式について、比較検討を行なった結果、将来の商業化事業に対するスケールアップの容易さ、および鉱石、特に中国とオーストラリア鉱石への適合性については、各方式間に差はないが、早期に技術を完成させる必要性、操作の容易さ、および操業の安定性、商業化規模での経済性などの諸要素を総合的に勘案して、次のステップのパイロットプラントの方式は、シャフト炉方式とすることとなった。

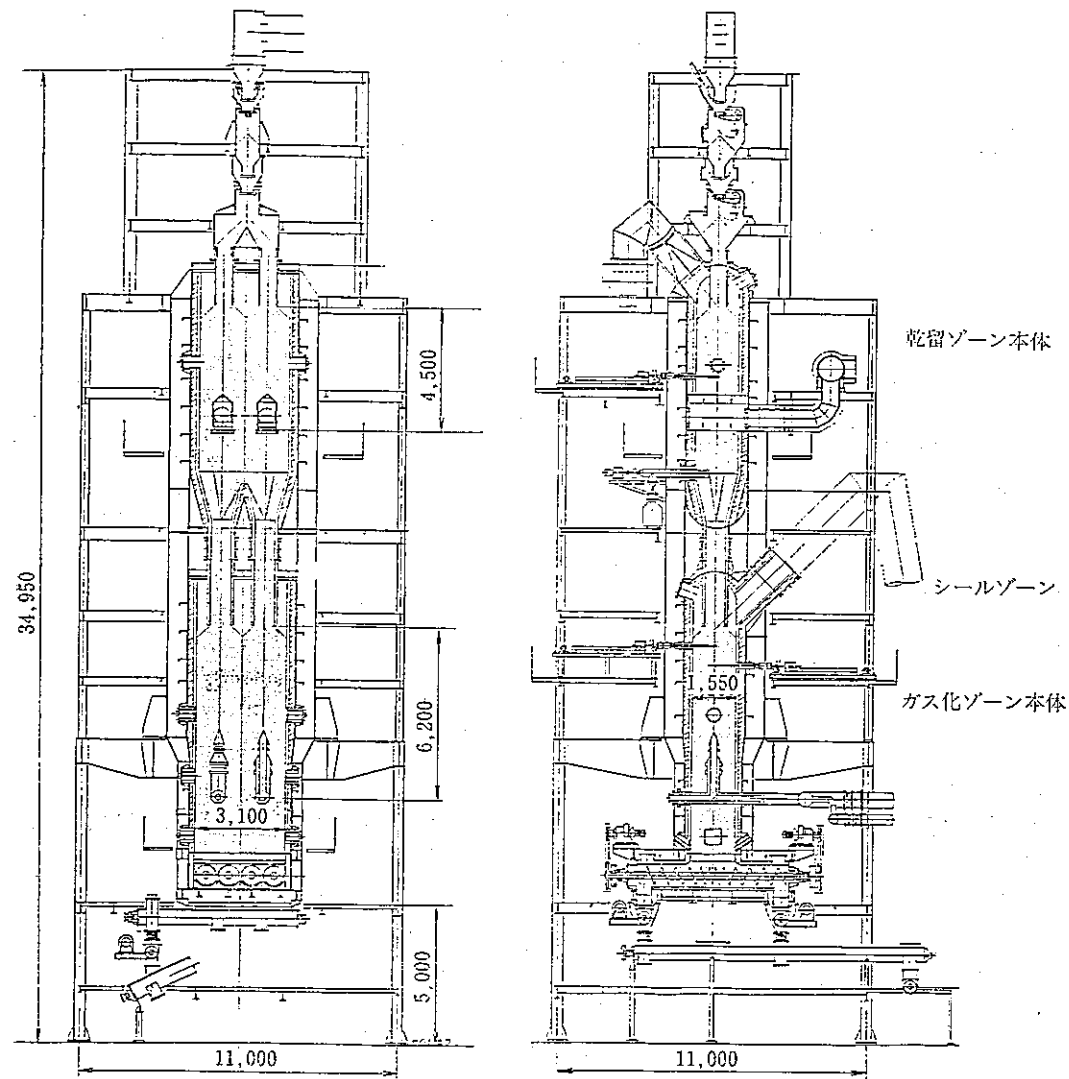
(3) 300 ton/day パイロットプラントによる研究

ベンチプラントによって乾留実験などの基礎技術研究で得られた研究成果に基き、鉱石処理量 300 ton/day のパイロットプラントによる試験研究を昭和 58 年度から開始した。パイロットプラントシステムは、シャフト炉方式の乾留ガス化設備とし、これに高水分シェールを乾留前に乾燥するための固定床型乾燥炉を付設し、更に乾留後シェールの燃焼をシャフト炉ガス化ゾーンと別に行なうなどの高効率燃焼の研究を行なうために、流動床燃焼炉を併設した設備構成とした。

① シャフト炉型乾留、ガス化システムの特徴

シャフト炉の代表的存在といえる製鉄用高炉は、特にここ 20 数年の間に急速な革新をとげた。その結果、高炉の燃料比の大幅な低下、出銑比の増加など、著しい効果を受け、鉄鋼業の

図 10 シャフト炉型乾留ガス化炉本体



体質強化に貢献している。この高炉の技術は、コークス乾式消化設備 (CDQ)、成型炭コークス乾留設備 (FCP)、鉄鉱石直接還元製鉄 (DR) など広い分野のシャフト炉に適用され、大きな成果を得ている。シャフト炉に関する主要な技術改良は次のようなものである。

(a) 装入原料の事前処理技術の発展と管理技術の確立

(b) 装入、排出機構の信頼性、シール性、分配性の向上と、均一荷下り、均一ガス流れの達

成

(c) 計測技術の発達による操業の安定性  
(d) 計算機の導入による制御、日常操業管理の自動化

今回建設されるパイロットプラントに使用されているシャフト炉型乾留・ガス化システムは、上記の確立されたシャフト炉技術を応用するとともに、制御技術の信頼性を基礎に、乾留ゾーンとガス化ゾーンそれぞれのガスの流れの分割を図った。従来の乾留システムに対する本

システムの特徴は以下のような点にある。

(a) 原料装入、排出機構の信頼性が高く、シール性がよい。またシャフト炉内の装入物の分配が良いため、シェールの均一な加熱が可能で、高い熱効率が得られる。

(b) 乾留ゾーンとガス化ゾーンを分離して制御しているため、乾留、ガス化それぞれに最適な温度分布が得られ、また操業の安定性も高い。

(c) 乾留に外部加熱方式を採用しており、乾留ガスが高濃度で回収され、回収ガスの利用率が高い。またオイル収率も高い。

(d) 乾留ガス量が少ないため、脱 NH<sub>3</sub> 設備、脱ナフサ設備、脱 H<sub>2</sub>S 設備がコンパクトとなり、ガス処理コストが安価となる。

(e) シャフト炉内を機能的に分割する方法を採用しているため、大型化、スケールアップが容易である。

② パイロットプラントの設備構成

パイロットプラントは、シャフト炉方式の乾留ガス化設備を中心にして、これに固定床型乾燥設備および流動床式燃焼設備を併設する設備構成となっている。また原料の前処理のための粉碎整粒設備、乾留ガス化設備より発生するガスから熱および油を回収するための油回収・熱

回収設備、排ガスを処理する排ガス処理設備、プラントのユティリティを供給するユティリティ設備も含んでいる。パイロットプラントのブロックフローを図 11 に示す。

設備機器のイメージフローを図 12 に示す。また、各設備の基本構想は以下の通りである。

(a) 破碎整粒設備

貯鉱ヤードからの原シェールを、破碎機、振動篩により、6~70 mm に整粒する。

(b) 乾燥設備

破碎整粒設備で整粒されたオイルシェールを、篩により細粒、粗粒に2分する。グレート上層部に粗粒シェール、下層部に細粒シェールという層構造になるようにオイルシェールを装入し、乾燥むらを防止する。乾燥機は4つのゾーンに分離されており、熱源ガス、循環ガスを3種類のテストモードで流し、幅広い操業条件でのデータ取得を行なうことができる。

高水分のオイルシェール (例：中国茂名鉄石、水分 17%) は、約 150 °C にて平均 10% の含水率に迄乾燥される。

(c) 乾留ガス化設備

破碎整粒設備から搬送された生オイルシェール、または乾燥設備から搬送された乾燥シェールは、篩にかけてハンドリング過程で発生した粉を除去した後秤量され、2-シールバルブ型

図 11 パイロットプラントのブロックフロー

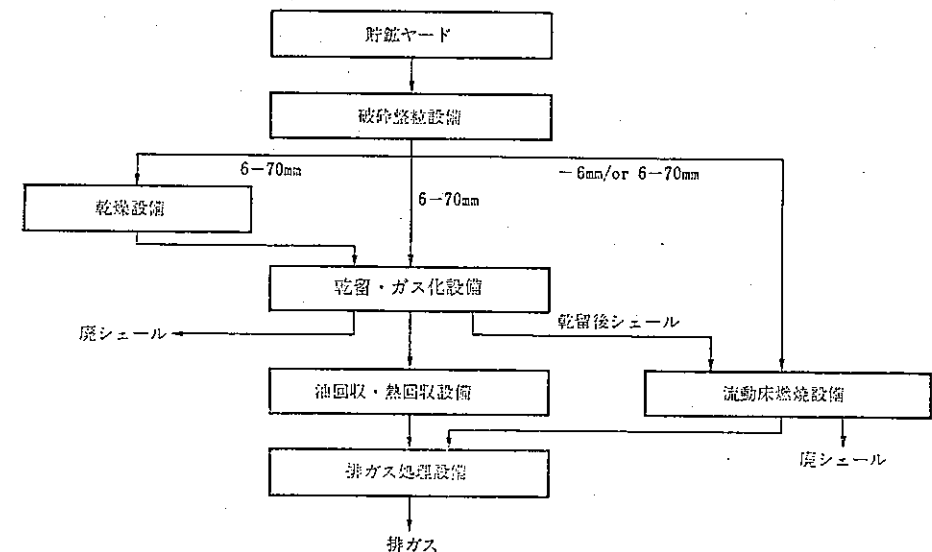
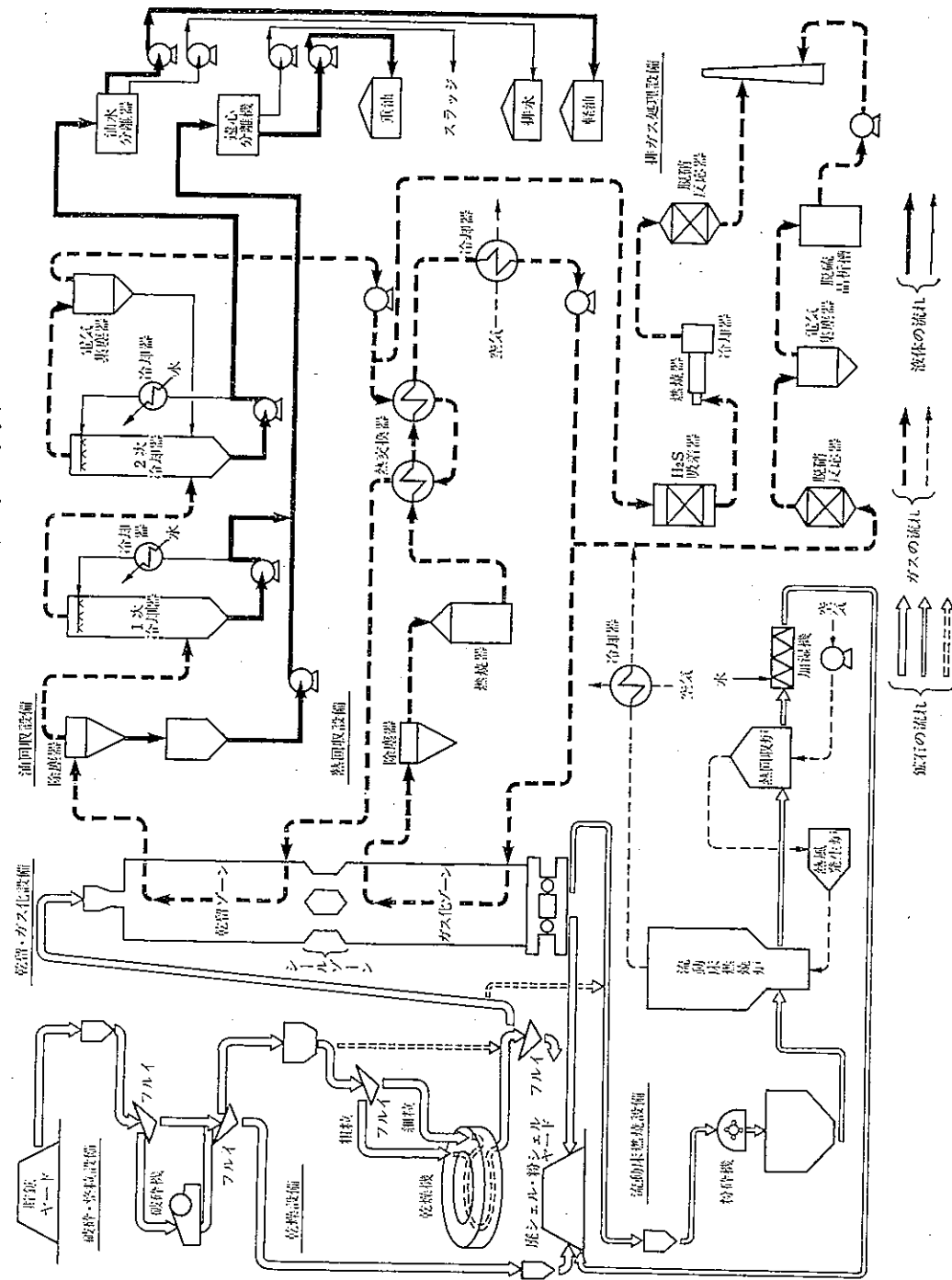




図 12 300 ton/day パイロットプラント・イメージフロー



装入装置を経て、シャフト炉型レトルトに装入される。

レトルトは、二つのチャンバーと、それらを結ぶ2本の連結管から構成されている。上部チャンバーは乾留ゾーンであり、装入されたオイルシェールは、循環、加熱されている乾留ガスによって、約550℃で乾留される。乾留されたシェールは、連結管を通り、下部のガス化ゾーンに入る。ここでは下部から吹き込まれる空気によって乾留後シェールの残留炭素が燃焼し、ガス化され、乾留ガスの加熱のための熱源となる。連結管は、シールゾーンの役目を果たし、上部チャンバーの乾留ガスと、下部チャンバーのガス化ガスの混合が極少になるよう、上下のガス圧力差を微調整する。

生成した廃シェールは、スクリーコンベア方式の排出装置によりレトルト外に排出される。

(d) 油回収設備

乾留ゾーンで生成した産物ガスは、レトルト頂部より排出され、湿式サイクロンでの除塵後、2段ガス冷却器に送られる。1次冷却器で重質油、スラッジが、また2次冷却器およびEPで、軽質油や水分が捕集され、セパレータによりそれぞれに分離される。

(e) 熱回収設備

レトルトのガス化ゾーンで生成したガスは、ガス化ゾーン上部より排出され、1次集塵器を経て燃焼炉に導かれ、ここでガス中の水素、一酸化炭素を燃焼して潜熱を回収する。熱ガスの熱は、熱交換器に於て、乾留循環ガスに伝達される。

(f) 流動床燃焼設備

流動床燃焼設備は、生シェール専焼および乾留後シェール専焼が可能である。乾留後シェールまたは生シェールは、まず破砕機により6mm以下に破砕された後、燃焼炉に供給し、燃焼炉底部から吹き込まれた約500℃の予熱空気により流動燃焼する。燃焼用空気は流動床型の熱回収炉において燃焼炉から出た熱廃シェールにより予熱される。

(g) 排ガス処理設備

乾留ゾーンからの油回収設備後の排ガスは、H<sub>2</sub>Sを酸化鉄系触媒により吸着除去した後、炭化水素等の有機物を燃焼させて酸化分解する。この際に生じるNO<sub>x</sub>は、乾式接触還元法により除去される。

ガス化ゾーンからの排ガス、および流動床燃焼炉からの排ガスは脱硝し、乾式EPで除塵した後、湿式石膏法によって脱硫し、大気中に放散する。

③ 研究開発スケジュール

パイロットプラントによる研究は、昭和58年度から昭和62年度の5年間にわたって行なわれる。

昭和58年度、59年度に基本設計を終え、昭和59年度後半に詳細設計に入り、昭和60、61年度に機器の製作および据付を行なう。昭和61年2月中旬に現地の土木基礎工事に着手、7月からは機器建設を行ない、同年末までには、その建設を完了させる。

昭和62年に入り、約3ヶ月間の模擬運転により、設備初期トラブルの解決、必要な改造を行なった後、4月～7月にはオーストラリアのコンドル鉱石を用いた運転研究(I)を、8月～昭和63年1月には、中国の茂名鉱石を用いた運転研究(II)を行なう。この間の運転日数は、約20日の連続運転を含み、計約100日間の予定である。

3. オイルシェール資源開発の展望

(1) オイルシェール技術の開発

オイルシェール資源の開発のためには、オイルシェールから油を回収する技術の開発が不可欠である。本格的なオイルシェールプロジェクトの展開は21世紀初頭以降と考えられており、その時までにはオイルシェール開発技術を完成させておく必要がある。

オイルシェール技術の開発の必要性は、世界的にも古くから注目されており、それぞれの国においてさまざまな努力がなされた。特に、1977年の第二次エネルギー危機(オイルショック)直後には、本格的な商業化プロジェクト実

現を目ざし、多大な費用をかけた研究が行なわれた。しかし、これらの研究にもかかわらず、オイルシェール乾留の商業的技術として完成したプロセスを確立することのないまま、現在の石油価格低落に伴う、一時的なオイルシェール資源開発の停滞時期を迎えている。米国においては、70年ものオイルシェール資源開発の歴史を有しながら、乾留技術の開発が断続的に行なわれて来たため、ほとんど技術的進歩をもたらさなかったとする強い反省がある。

わが国はオイルシェールの技術開発に対して、長期的な視野に立ち、組織的に取り組んで来た世界でも数少ない国の一つである。オイルシェール技術の中心は乾留技術とシェールオイルの改質であるが、その技術の要件としては、

① 大量の鉱石を効率よくハンドリングすること（一般の油田規模などから考え、実用最低規模とされる 10,000 b/d のプラントにおいても、実に 1日に約 20,000 トン以上の鉱石を処理する必要がある）

② 鉱石よりの油回収効率を高めること（直接に単位回収油当り、鉱石処理量に關係する）

③ エネルギー効率を上げること（電力などの所要量が運転コストを決める）

があげられる。わが国は鉱石の大量処理に関しては、鉄鋼業などにおいて世界でも有数の高い技術をもっていること、現在研究している乾留システムとして乾留ガス外部加熱方式を採用しており、原理上、油回収効率・エネルギー効率が他のプロセスに比し優位にあることを考慮すると、わが国で開発中の技術が完成すれば、世界でも代表的な商業プロセスとなる可能性は十分にある。

## （2）わが国のオイルシェール開発に関する今後の展望

石油資源およびオイルシェール資源を持たないわが国でオイルシェール技術を開発する目的は、エネルギー資源の確保である。世界をリードするオイルシェールよりの油回収技術が開発されれば、それを背景として、オイルシェール資源国と協力して資源を開発する権益を獲得す

ることができよう。

技術開発に関しては、我が国は昭和 62 年度には、300 ton/day のパイロットプラントの運転が完了し、本プロセスの有効性が実証され、ユティリティ条件など、エンジニアリングの基礎データが得られる。しかし、現在計画している研究は、運転日が全部で約 100 日と短く、またパイロットプラントの規模が 300 ton/day と、実プラントの数万 ton/day に対してかなり小さい。従ってこのプロセスを商業化プラントとして完成させるためには、詳細エンジニアリングデータ、コスト評価データの取得、長期運転にかかわる問題点の解決のためのプラントの長期運転による長期実証化試験および、スケールアップのステップとして、中間規模のセミ商業化プラント試験（例えば 1000~3000 ton/day）が不可欠である。長期運転、セミ商業化プラント段階のテストでは、大量の鉱石が必要となってくること、また将来の資源開発プロジェクトへのアプローチを考えておくべきことから、資源国にプラントを建設し運転することを考慮する必要がある。

わが国と資源国との関係についてはすでに、オーストラリアのコンドル鉱石について、その開発のために日豪オイルシェール（JAOSCO）を設立し、採掘権をもつオーストラリア企業と共同で昭和 56 年から 2 ヶ年半にわたり、フィージビリティ調査を行なった実績がある。また、中国においては、中国石油化工総会社が現在世界で唯一の商業生産を行っており、その生産の拡張、新しい鉱区の開発に意欲をもっているが、その際には新鋭技術の導入を希望しており、わが国にも技術協力または日中合作の要求をして来ている。

昭和 62 年度にパイロットプラント研究を終了した後、どのようなステップでその技術を完成に導いていくか、またその過程で資源国との協力関係をどう進めていくかということが、わが国のオイルシェール開発に携わる我々オイルシェール事業室に課せられた最大の課題である。