

■ シリーズ特集 ■ 明日を支える資源 (21)

# オイルシェール・オイルサンドの現状と将来

Oil Shale and Oil Sand : the Present and the Future

鈴木 舜 一\*

Shunichi Suzuki

## 1. はじめに

オイルシェールとオイルサンドの開発の歴史は古く、19世紀後半には商業的生産が開始されたが、その後安価な石油の供給によりその発展が抑制された。1970年代の石油危機以降、石油代替資源として注目され、その開発技術に関する研究が世界的に盛んに行われ、主要資源保有国では生産が復活して来た。

最近石油価格の低迷により、代替エネルギー資源についての関心がやや薄れつつあるが、石油資源には限りがあり、将来のエネルギー安定供給をはかるためには、長期的見地からオイルシェール・オイルサンド資源の開発を積極的に推進する必要がある。

ここではオイルシェールおよびオイルサンド資源の地質学的特徴、開発の現状および将来展望について述べる。

## 2. オイルシェール

### 2.1 オイルシェールの定義

オイルシェールは、ケロジェン（有機溶媒に不溶の有機物）を含む堆積岩で、乾留によって相当量の油が回収されるものと定義されている。またオイルシェールは、一般に少量のピチューメン（有機溶媒に可溶）も含んでいる。ケロジェンおよびピチューメン含有量の限界値は、研究者により異っているが、Shelley<sup>1)</sup>は、有機物含有量を10—27%（ケロジェン>8%、ピチューメン>2%）としており、27%以上を燧炭としている。Yen and Chilingarian<sup>2)</sup>は、灰分33%以下のものは石炭の1種の腐泥炭に分類すべきだとしている。灰分に関係なく、腐泥炭もオイルシェールに含めている研究者もいる。

オイルシェール中の有機物は、微細に分散して含まれているため、顕微鏡下で形態的に母材が識別できる

ものが少なく、一般に全有機物中の数%以下にすぎない。母材が同定できるものとしては、例えば藻類、孢子、花粉などである。このように、オイルシェール中のケロジェンは母材の同定が困難なものが多いため、化学組成によってtype I, II, IIIに区分されている。<sup>3)4)</sup>

type Iは、H/C比の高い母材に由来するもので、主に藻類又は脂質に富む有機物と考えられる。これは油とガスの生成量が大きい。

type IIは、H/Cと油・ガスの生成量がtype IとIIの間にあるもので、プランクトンやバクテリアから生じたものと考えられる。

type IIIは、母材のH/Cが低く、O/Cの高い腐植質のもので、陸上植物に由来するものとされている。これは、油よりもガス生成量が大きい。

オイルシェールの油の性状は、これらのケロジェンのtype およびピチューメンの量と種類によって変化する。

### 2.2 オイルシェール中の鉱物と微量成分

オイルシェールに含まれる主なる鉱物は、石英、長石、粘土、オパール、方解石、ドロマイト、黄鉄鉱、燐酸塩鉱物である。さらに重炭酸ソーダ石、ダウソン石、岩塩などが含まれることがある。

構成鉱物の種類によって、オイルシェールは、炭酸塩鉱物にとむもの（例：Green River 層中のもの）、珪質のものなどに区分されることがある。

オイルシェールは、一般の泥質岩に比して重金属に富むことが知られている。<sup>5)</sup> ドイツのジュラ紀のPosidonienschiefer と呼ばれるオイルシェールについては、微量重金属元素の詳細な研究が行われており、重金属元素含有量がかなり高く、抽出ピチューメンにはとくにVとAgが多く含まれていることが明らかにされている。<sup>6)</sup>

### 2.3 オイルシェールの分類

オイルシェールは、堆積環境ケロジェンの種類およ

\* 東北大学工学部資源工学科教授  
〒980 仙台市荒巻青葉

び量などによって分類される。

堆積環境としては、(1)大湖盆（例：始新世のGreen River オイルシェール）、(2)浅海（例：ブラジルの二畳紀）、(3)石炭堆積盆に伴う小湖盆（例：撫順）に区分される。<sup>23)</sup> (1)は分布が広く、高品位のものが多く、(2)は薄層であるが、分布が広く、(3)は厚層で高品位のものが多く。

前述のように、ケロジェンは3つの type に区分されており、オイルシェールも含有ケロジェンの type により分類される。また、ケロジェンとピチューメンがある量以上に含まれると腐泥炭として扱われている。研究者によって限界値が異なっているため、含有量がある範囲のものは、同じものでもオイルシェールとされたり、腐泥炭とされたりしている。

腐泥炭は、水底の嫌気性条件下で腐泥として堆積したものである。構成マセラルによって、腐泥炭は燧炭とボッグヘッド炭に区分される。<sup>7)</sup> 燧炭は主にスポリナイト（花粉・孢子）、リプトデトリナイト、ピチューミナイト（脂質に富むアモルファスなマセラル）からなっている。これに対し、ボッグヘッド炭は、アルジナイト（藻類）、リプトデトリナイト、ピチューミナイトからなっている。

ボッグヘッド炭は、さらにいくつかの型に分けられており、その代表的なものがTorbaniteとTasmaniteである。Torbanite はスコットランドの上部石炭紀

層中に産し、淡水生の藻類に富んだ腐泥炭である。Tasmanite は、タスマニアと北アラスカに産し、マセラル組成はTorbanite に似ているが、海藻からなるものである。

#### 2.4 埋没によるケロジェンの変化

地層が堆積後、埋没深度が増加すると、温度と圧力が上昇し、地層中に含まれる有機物は鉱物よりも鋭敏に変化する。この変化の過程は、石炭では石炭化作用、ケロジェンでは熟成作用と呼ばれ、その進行は主に温度と時間に依存する。

石油根源岩では、ケロジェンの変化をダイアジェネシス、カタジェネシス、メタジェネシスの3段階に分けている。ダイアジェネシスは、未熟成の段階である。カタジェネシスは石油およびウェットガスの生成段階、メタジェネシスは熱分解によるメタンの生成段階である。

このような有機物の変化は、オイルシェールや腐泥炭においても生じ、地下において油・ガスの生成と移動が行われるため、熟成度が高くなるにつれて留出分が減少する。石炭化度で低揮発分瀝青炭相当以上になると留出分が著しく低下する。

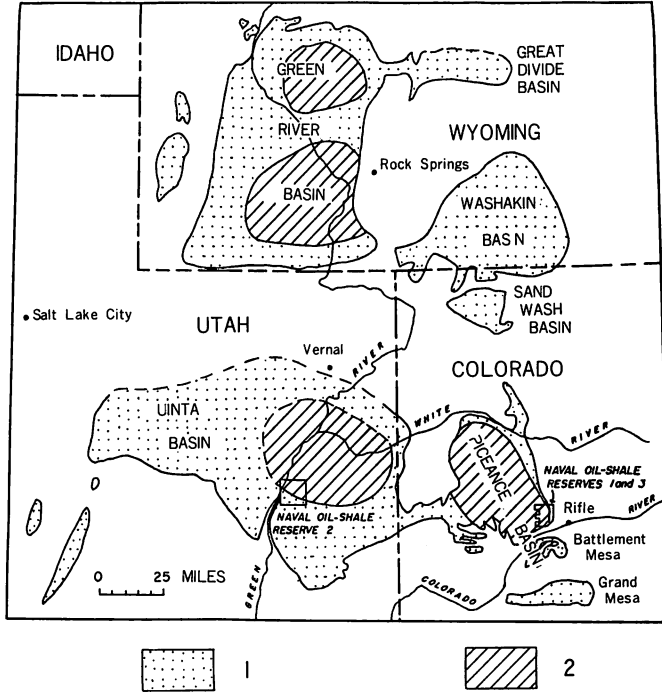
#### 2.5 オイルシェールの分布と埋蔵量

オイルシェールの地質時代は、表1に示すように、オルドビス紀から第三紀にわたっている。

オルドビス紀のものは、ヨーロッパ北部、アジア北

表1 主なるオイルシェールの地質時代と有機物含有量 (Tissot and Welte<sup>4)</sup>による)

国	地 区	オイルシェールの地質時代	オイルシェールの有機炭素含有量 (%)	留出油分 (%)
Australia	Glen Davis	二畳紀～石炭紀	40	31
Australia	Tasmania	二畳紀	81	75
Brazil	Irati	二畳紀		7.4
Brazil	Tremembe-Taubate	第三紀	13-16.5	6.8-11
Canada	Nova Scotia	石炭紀	8-26	3.6-19
China	Fushun	第三紀	7.9	3
France	Autun, St. Hilaire	二畳紀	8-22	5-10
France	Crevenay, Séverac	ジュラ紀	5-10	4-5
W. Germany	Messel	第三紀	25-45	5-19
Great Britain	Scotland	石炭紀	12	8
South Africa	Ermelo	二畳紀～石炭紀	44-52	18-35
Spain	Puertollano	二畳紀～石炭紀	26	18
Sweden	Kvarntrop	下部古生代	19	6
USA	Alaska	ジュラ紀	25-55	28-57
USA	Colorado	第三紀	11-16	9-13
USSR	Estonia	オルドビス紀	77	22
Yugoslavia	Aleksinac	第三紀	21	10



1 : 低品位オイルシェール分布区域 2 : 厚さ>10フィート, >25ガロン/tのオイルシェール分布区域  
 図-1 Green River 層のオイルシェールの分布 (Duncan and Swanson<sup>8)</sup>による)

部, 北米東部~中部に産し, 大部分が留出油分の比較的低い珪質黒色頁岩である。ソ連のエストニアの kukersite と呼ばれるものは, 高品位の石灰質オイルシェールで, 過去数十年間稼行されている。

シルル紀~デボン紀のものは, 米国東部~中部に産する海成層で, 比較的留出油分が少ない。

石炭紀~二畳紀のものは, 大部分が夾炭層に伴い, スコットランド, フランス, スペイン, 南阿, オース

トラリア, ソ連などで小規模に稼行されている。湖成層として大規模なものは, カナダの Albert Shale である。また世界最大級としては, ブラジル南部の海成の Irati Shale である。

中生代のオイルシェールは, アフリカのコンゴの三畳紀の高品位湖成層; アジア東部~北部のジュラ紀~白亜紀の夾炭層; イスラエル, ヨルダン, シリア, アラビア半島北部の白亜紀海成層; 欧州各地のジュラ紀海成層; アラスカおよびカナダの海成層; 米国東部の三畳紀および西部の白亜紀夾炭層など, 世界各地に広く分布している。

第三紀のものは, 多くが非海成である。海成のものは大規模であるが, 一般に低品位である。第三紀の非海成オイルシェールの例は, 米国の Green River 層中のもの (図-1), ブラジルの Paraiba Valley, ユーゴスラビアの Alesinac, ソ連南部, 中国撫順である。海成の黒色頁岩-燐鉱岩-チャートの組合せ型のオイルシェールは, 大部分が新第三紀のもので, カリフォルニア, アルジェリア, シシリー, コーカサスから産出が知られている。これらは主に珪質のオイルシェールで, ケロジェンの他, かなりの量のピチューメンを含んでいる。

表2 主なるオイルシェール産出国の埋蔵量 (Tissot and Welte<sup>1)</sup>による)

国	油原始埋蔵量 (百万m <sup>3</sup> )
North America	271,000
USA	264,000
Canada	7,000
South America: Brazil	127,000
Northern and Western Europe	1,000
Italy	5,600
USSR (including Siberia)	56,000
Jordan	7,800
Marocco	7,400
Zaire	16,000
China	4,400
Thailand	2,000
その他	2,000
合計	500,000

主なるオイルシェール資源保有国の埋蔵量は、表2に示す通りで、世界の原始埋蔵量5,000億 $\text{m}^3$ のうち、米国が約53%を占めている。

## 2.6 わが国のオイルシェール

わが国では、従来北海道吉岡付近の中新世の地層と石川県手取含炭地の白亜紀層中にオイルシェールの産出<sup>9)</sup>が知られていたが、最近岩手県岩泉町の門含炭地の古第三紀層から見出されている<sup>10)</sup>。これらはいずれも夾炭層中には含まれているもので、小規模で低品位のため、稼行価値がない。

わが国でも古第三紀炭田から「めなし炭」と称する腐泥炭の1種が産出することが知られている。石狩炭田夕張地区<sup>11)</sup>、芦別地区<sup>12)</sup>、東幌地区<sup>13)</sup>、筑豊山野地区<sup>14)</sup>から報告されているものは、薄層～レンズ状をなし、炭層中に産するものである。これらは腐植質がやや多く、腐植質燧炭に属するものが多い。従来わが国の古第三紀炭田では、燧炭又はオイルシェールについて注意が拂われていないので、再検討すれば、これらの他に小規模なものも見出される可能性がある。

## 2.7 開発の動向

スコットランドでは、商業的なシェールオイルの生産が1862年に始められ、20世紀に入ってから英国、フランス、スペイン、スウェーデン、オーストラリア、南阿で生産が行われたが、現在これらの国々のオイルシェール工業は停止状態にある。

1970年にブラジル南部のIrati オイルシェールの開発が始まり、2,500t/日が生産され、現在4,400バレル/日のプラントが建設中で、50,000バレル/日のプラントの計画が立てられている。

米国のGreen River オイルシェール地域では、約10のプラントの建設計画と開発が進められている。この地域では、露天掘、柱房法採掘、油層内乾留などの種々の方法が行われている。

現在大規模な開発が行われているのは、中国とソ連である。中国は撫順(700万トン/年)、茂名(350万トン/年)で生産が行われており、ソ連ではエストニアとボルガ盆地で生産プラントが稼働している。

撫順のオイルシェールは、炭層の上盤をなし、厚さ最大約130mで、石炭とともに露天掘が行われている。

1930年に生産を開始し、約6万トン/年の粗油を回収、1937年には約14万トン/年、終戦の頃には約25万トン/年に達した。開発当初から乾留後の廃石の利用が検討されている。戦前の撫順のオイルシェール工業については、石橋<sup>15)</sup>によって詳しく報告されている。

石橋は、オイルシェールの他に、カバリーと称する燧炭が炭層中にかなり産出することを明らかにした。この燧炭は収油率15～26%で、将来燧炭油回収の企業化の時期が到来することを示唆している。

国内資源をもたない日本が、先進国に伍してオイルシェール開発を進めるためには、高度の技術を開発し、これを背景として資源保有国の開発に参加する機会を得なければならない。技術開発には、国が先導的立場で推進する必要があることが認識され、石油公団が中心となって研究を進めることになった。実施にあたっては、国内の36社がジョイントベンチャーとなり、日本オイルシェールエンジニアリング株式会社を設立し、1981年から技術開発が進められている。なおオイルの改質は別に設立された新燃料油開発技術研究組合が研究を行っている。これらの技術開発の経緯および研究内容については、石油公団<sup>16)17)18)19)</sup>によって詳しく記述されているので、これを参照されたい。

オーストラリアのコンドルオイルシェールを対象として日豪オイルシェール(株)が設立され、オーストラリア企業と共同で、1981年～1983年にフィジビリティ調査が行われている。また中国は新技術の導入に意欲的で、わが国にも技術協力を期待している<sup>18)</sup>。

最近の各国の研究動向については、Yen and Chilingarian (ed.)<sup>2)</sup>、Strausz and Lown (ed.)<sup>20)</sup>、Stauffen (ed.)<sup>21)</sup>などにまとめられており、また榎本<sup>22)</sup>は1980年～1982の各国の膨大な文献を紹介している。さらに大洞<sup>23)</sup>は乾留および改質技術の課題について述べている。

## 3. オイルサンド

### 3.1 オイルサンドの定義

地表または地下浅所にある多孔質砂層中に、粘度の高い重質の油を含むものをオイルサンド、あるいはタールサンドと呼んでいる。また、オイルサンドとして一括されているものは、粘度と比重により、重質油層とタールサンドに区分されることがある<sup>4)</sup>。すなわち、重質油は100～10,000cP(油層状態)、密度0.93～1.00 $\text{g}/\text{cm}^3$ (10～20° API)；タールサンド(超重質油)は>10,000cP、密度>1.00 $\text{g}/\text{cm}^3$ (<10° API)で、油層状態で流動できず、在来の採油法では回収できない。

### 3.2 重質油の組成

重質油は、炭化水素、樹脂、アスファルテンからなるが、その組成は産地によって異っている。一般の石

油に比較すると、重質油は炭化水素、とくにアルカンが少なく、芳香族化合物、樹脂、アスファルテンが多い。

重質油の飽和炭化水素は、ふつう25%以下で、平均約16%である。芳香族炭化水素とベンゾチオフェン誘導体は25~35%で、平均30%程度である。樹脂とアスファルテンは、あわせて25~70%である。S含有量がふつうの原油に比較して高いのは、ベンゾチオフェン誘導体、樹脂、アスファルテンが重質~超重質油に多く含まれているためである。

### 3.3 オイルサンドの産状と成因

世界のオイルサンドの大部分は、先カンブリア紀の基盤岩からなる盾状地の上に形成された大規模堆積盆にあり、主に河成又はデルタ成の砂層中に産出する。

オイルサンドには2つの生成タイプがある。1つは石油トラップが侵食されて、一部が地表に露出又は、地下浅所にあるものである。その例は、マラガシーの Bemolanga オイルサンドである。他は、石油が深部のトラップから上昇移動して、地表又は地下浅所に達したもので、トリニダートの La Brea オイルサンドがその例である。

カナダのアルバータオイルサンドの成因については、まだ明確にされていない。このオイルサンドは下部白亜紀層中にあり、ごく緩く西に傾斜している。ふつうの原油の生成は、アルバータ堆積盆の西部で行われたが、オイルサンドは堆積盆東縁の層位トラップ（尖滅型）および複合トラップ（褶曲・尖滅型）中に見出される。このオイルサンドの重質油は未熟成とする説、

熟成後に変化したとする説に分かれている。オイルサンドの産状からすると、後者の説が有利と思われる。

一般に、重質~超重質油は、石油が地下浅所に移動して、軽い成分が揮発し、重い成分が濃集し、さらに天水が浸入して、酸化とバクテリア分解などにより変質したものと考えられている。

### 3.4 オイルサンドの分布と埋蔵量

表3に示すように、世界のオイルサンドの油の原始埋蔵量は4,500億~1兆m<sup>3</sup>で、これは既発見の石油の原始埋蔵量に匹敵するものである。

カナダ西部の白亜紀層中のオイルサンドの原始埋蔵量は2,200億m<sup>3</sup>と見積られており、そのうち露天掘りで60億m<sup>3</sup>、蒸気圧入法で約400億m<sup>3</sup>が回収しうが、残りの1,700億m<sup>3</sup>は現在の技術では回収できない。

オイルサンドの大規模鉱床は、きわめて膨大な埋蔵量を有している。たとえば、カナダの Athabasca 地区だけでも原始埋蔵量は1,400億m<sup>3</sup>である。これは、世界最大級の油田といわれるサウジアラビアの Ghawar 油田の原始埋蔵量の約3倍に相当する。中東地域の原始埋蔵量の総計は約3,000億m<sup>3</sup>で、これはカナダ西部やベネズエラの原始埋蔵量に近い値である。

### 3.5 開発の動向

オイルサンドは、オイルシェールに比較して、油の回収が容易で、生産コストの点でも有利であるため、膨大な資源を有するカナダでは、1960年代から開発活動が始まり、石油危機によって世界的に開発技術の研究が盛んに行われるようになった。

回収方法としては、露天掘りと油層内回収の2つの方法がある。露天掘りで問題となるのは、被覆層の厚さと環境破壊である。採掘したオイルサンドからの一般的な回収方法は、熱水又は蒸気熱処理により、油を分離するものである。

被覆層が厚く、露天掘りが困難な所では、油層内回収法を行う必要がある。これには、溶媒圧入法と、加熱による粘度低下法とがある。加熱法には、熱水・蒸気圧入法、火攻法、地下核爆発法などがある。

現在、カナダのアルバータでは、露天掘りで2プロジェクトが商業生産を行っており、油層内蒸気圧入法で、Cold Lake 地区で2プロジェクトが商業生産を行っている。4プロジェクトで合計約20万バレル/日が回収されている。さらに、Athabasca, Cold Lake, Peace River, Wabasca, の各地区で研究開発プロジェクトが進められている。

ベネズエラの Orinoco のオイルサンドでは、種々

表3 主なるオイルサンドの原始埋蔵量 (Tissot and Welte<sup>(1)</sup>による)

国	地区	貯留層の地質時代	原始埋蔵量 (10億m <sup>3</sup> )
Venezuela	Orinoco	漸新-中新世	150 ~ 500
Canada	Athabasca Cold Lake Wabasca Peace River	初期白亜紀	220
		"	
		"	
		"	
Canada	Carbonate triangle (Alberta)	古生代	0 ~ 200
U.S.S.R.	Melekess (Vosga-Ural)	二疊紀	20
U.S.A	Tar Triangle Uinta Basin Others	古生代	3.3
		二疊紀	2.5
		始新世	1.7
			5.5
その他			50 ~ 70
合計			約 450 ~ 1000

の油層内回収法が用いられている。その1つは、油層に精製ディーゼル油を圧入し、重質油を溶かして回収するものである。ベネズエラは、カナダに比較して賦存深度が深いものが多く、露天掘の適地は少ないとされている。

最近のオイルサンドの回収技術に関しては、Stausz and Lown (ed.)<sup>20)</sup>、Stanffen (ed.)<sup>21)</sup> に詳しく述べられている。最近のオイルサンド油の改質精製法の進歩については藤田<sup>24)</sup> によって詳しく述べられている。また、カナダおよびベネズエラのオイルサンドの埋蔵量については加藤<sup>25)</sup>、カナダアルバータの開発状況については崎川<sup>26)</sup> の紹介がある。オイルサンドの詳細については、これらの文献を参照されたい。

#### 4. むすび

長期の世界エネルギー需給展望によれば、石油の究極可採埋蔵量・生産量・消費の延びの関係から、2,000年までに石油の需給が逼迫して価格が上昇し、2010年頃には石油生産のピークに達し、これ以降は石油に代る化石燃料資源の本格的開発利用の時期に入るものと予想されている。資源小国の日本としては、技術開発を積極的に推進し、将来のエネルギー問題に備える必要がある。

#### 文 献

- 1) Shelley, R.C.; Elements of Petroleum Geology (1985), W.H. Freeman & Co.
- 2) Yen, T.F., Chilingarian, G.V. (ed.); Oil Shale (1976), Elsevier.
- 3) Durand, B.; Kerogen (1980), Technip.
- 4) Tissot, B.P., Welte, D.H.; Petroleum Formation and Occurrence (1984), Springer Verlag.
- 5) Eugster, H.P.; Oil Shales, Evaporites and Ore Deposits, Geochim. Cosmochim. Acta, Vol.49 (1985), 619-635.
- 6) Gaertner, H.R. von et al.; Zur Kenntnis des nordwestdeutschen Posidonienschiefers, Beih. geol. Jb., Heft 58 (1968), 1-581.
- 7) Stach, E. et al.; Coal Petrology (1982), Gebrueder Brontraeger.
- 8) Duncan, D.C., Swanson, V.E.; Organic-Rich Shale of the United States and World Land Area, U.S.G.S. Circular 523 (1966), 1-30
- 9) 地質調査所編; 主として燃料となる鉱石-石油および可燃性天然ガス。日本鉱産誌V-b (1957), 405-416.
- 10) 藤貫 正・藤井紀之・永田松三・坂田 将; 岩手鉱山産の低品位オイルシエール, 地調月報, 36巻, 4号 (1985), 155-165.
- 11) 鈴木舜一; 北海道石狩炭田夕張地区楓坑「めなし炭」の

- 石炭組織学的研究, 地調月報, 14巻, 1号 (1963), 81-90.
- 12) Kitazaki, U., Kubo, K.; Microscopic Studies on the "Menashi" and "Chirimem" Coals Found in the Bibai Formation of Ashibetsu Coalfield, Hokkaido, Japan, 資源研彙報, 34号 (1954), 81-88.
- 13) 中柳靖夫; 東幌炭鉱「めなし炭」の顕微鏡的研究, 炭研, 5巻3号 (1954), 6-9.
- 14) Takahashi, R.; Charaktereigenschaften der Kyushu Kohle (Japan), Insbesondere der Menashi-Kohle in dem Shingoshaku Kohlenlager, 地質雑, 61巻, 723号 (1955), 589-597.
- 15) 石橋弘毅; 頁岩油 (1940), 共立社.
- 16) 石油公団オイルシエール事業室; 期待される新エネルギー: オイルシエール (その1), 石油開発, 16巻, 4号 (1983), 85-97.
- 17) 石油公団オイルシエール事業室; 期待される新エネルギー: オイルシエール (その2), 石油の開発と備蓄, 16巻, 5号 (1983), 47-58.
- 18) 石油公団オイルシエール事業室; オイル資源の開発と展望, 石油の開発と備蓄, 19巻, 2号 (1986), 17-34.
- 19) 石油公団オイルシエール事業室; オイルシエール開発技術について, 石油の開発と備蓄, 20巻, 5号 (1987), 47-72.
- 20) Strausz, O.P., Lown, E.M. (ed); Oil Sand and Oil shale Chemistry (1978), Verlag chem.
- 21) Stauffen, H.C. (ed); Oil Shale, Tar Sands and Related Materials (1981), Amer. Chem. Soc.
- 22) 榎本 稔; オイルシエール研究開発の動向, サンシャインジャーナル, 4巻, 3号 (1983), 9-17.
- 23) 大洞正量; オイルシエール油開発に関する諸問題, 燃協誌, 66巻, 1号 (1987), 13-27.
- 24) 藤田 稔; オイルサンド油の資源開発の現状と改質精製法の進歩, 燃協誌, 66巻, 3号 (1987), 170-182.
- 25) 加藤正和; 石油系炭化水素資源に関するスタディ (その4), 石油開発時報, 75号 (1987).
- 26) 崎川範行; エネルギー資源北の宝庫カナダ, エネルギーレビュー10月号 (1984), 2-6.