

石炭資源の将来展望

井上正昭¹⁾・佐藤良昭¹⁾

1. はじめに

1973年の第一次オイルショック以来, 世界は省エネと石油代替エネルギーの開発について現在に至るまで努力を続けてきている。特に, 石炭は取り扱いに難点があるものの手近にまとまった量が得られる上, 経済的にも石油に対抗できるようになったこともあり, 有力なエネルギー源として開発・利用され現在に至っている。

石炭が一次エネルギー源として利用されている主なものは, 製鉄用原料炭, 同コークス製造原料, 発電用燃料セメント製造用燃料, 紙・パルプ製造用燃料, 練炭・豆炭製造原料等である。

この内発電用燃料に関しては, 原子力が最も強力なエネルギー源であるが, 安全性に問題が残っていて一般のコンセンサスが得にくいことから, その導入には制約があろう。また CO₂ の発生量が相対的に低い天然ガスは公害対策上からは歓迎されるとしても, その資源的な制約から, 大幅に伸びずわけにはいかない。もちろん石炭についても CO₂, NO_x, SO_x 等の地球環境問題や公害問題があるが, これらは今後の努力により軽減可能であって, その無尽蔵に近い膨大な埋蔵量から判断して, 将来共安定したエネルギー源としてその需要が伸びて行くであろう。

また石炭は一次エネルギー源としてだけでなく, 化学原料としても, 固体・気体・液体の3相に亘って利用されており, この面からも重要な資源である。

このように石炭の需要は人類の文明・産業発展のテンポに比例して伸び続けていくものと思われる。これに対応して石炭が開発・生産されて行く訳で, ここでは世界における石炭資源の概要(生成の由来と時代, 地理的分布と埋蔵量・生産量)について述べると共に, 日本における石炭資源の需給状況と利用技術の現状と将来につき, 環境対策を踏まえながら展望を試みてみる。

2. 石炭の形成とその時代

石炭ができるためには, 地質時代の大きな湖沼, 潟, 河川の氾濫原等の湿地帯に, 多量の植物遺骸(幹, 枝, 樹皮, 葉, 樹脂, 花粉, 孢子, 草本類, 藻類)の供給一堆积が行われ, これらが酸化分解を受けないように十分な水位を保ったまま長期間保存され, その間にバクテリアの活動等による分解作用, 腐植化作用が進み泥炭化が行われる。泥炭が石炭になるには石炭化の過程が必要である。まず河川の氾濫や海進により厚い砂や泥が一定の厚さになった泥炭を侵食することなく覆い続け, 全体が地下深部に埋没していく。泥炭は被覆堆積物の荷重による圧密作用により脱水し, 地下増温率による温度上昇で熱の影響を受けるようになる。この長時間にわたる温度・圧力の作用で, 泥炭中のH, O, Nは次第に追い出され, Cの割合が増加し, 密度も増す。この結果, 揮発分は次第に低くなり, 発熱量は高くなって行く。これを石炭化作用といい, 泥炭は褐炭→亜瀝青炭→瀝青炭→無煙炭と順次炭化度を増し, 究極ではCだけの石墨となる。

厚さ1mの炭層ができるためには厚さ5m以上の泥炭層が必要であり, これだけの泥炭が堆積するには6,000~9,000年の時間が必要と言われている。また, ヒルトの法則では, 深度が約90m増加する毎に, 石炭中のCは1.45%増し, Hは0.18%減り, 揮発分は2%減少するという。瀝青炭ができるには, 地温勾配にもよるが, 2,500~4,000mの埋没深度が必要と言われている。

このような石炭の形成は, 堆積が行われた地域によっても違って来る。相原(1979)は, これを安定大陸型, 中間型および造山型に3大別している。

安定大陸型: 安定大陸地塊の内部で, 盆状凹地が石炭堆積盆地となったもので, 非海成層がかなり長時間にわたり厚く堆積し, 比較的厚い夾炭層も形成されるが, 炭層の発達は中間型に比べてはるかに劣る。主なものは, 南アフリカ・インド東部の二疊紀炭田, ソ連のモスコウ炭田およびクズネツク・ツングース炭田(石炭—二疊紀)

1) 元所員; ㈱ダイヤコンサルタント; 〒171 東京都豊島区池袋3-1-2 光文社ビル

キーワード: 石炭, 石炭資源, 石炭埋蔵量, 石炭生産量, 石炭利用

等である。

中間型：安定大陸と造山帯の中間に形成されたもので、造山帯の方向と平行に伸長して大炭田を形成する。構造の中心部を離れるに従って安定してくる。炭化度は、安定部では低く、造山帯寄りでは進んでいる。代表的な炭田は、オーストラリアのシドニーおよびポーエン炭田（古生代）、米国東部アパラチア炭田（古生代）、米国西部ロッキー山脈炭田・北部大平原炭田（中生代—第三紀）、カナダロッキー山麓炭田（中生代）およびその内側の平原炭田（中生代—第三紀）等である。

造山帯型：新生代のものが多く、一般に小規模で、構造や炭質が複雑な変化を示すことが多い。中生代後期から新生代中期にかけて広く活動したアルプス—環太平洋造山運動に関連して形成された炭田で、主なものとしてはヨーロッパ南東部—トルコの第三紀炭田、インドネシアのカリマンタン島第三紀炭田、ニュージーランドの中生代炭田、日本の第三紀炭田、北米・南米西部コルディレラの白亜紀—第三紀炭田等がある。

45億年の地球の歴史の内、石炭の根源物質である陸上植物が繁茂しはじめたのはデボン紀（約4億年前）であるが、厚い石炭層になるような好環境条件が整ったのは石炭紀後期から二疊紀（約3～2.5億年前）である。この時代の石炭は、オーストラリア、南極、南アメリカ南部、南アフリカ、インドにまたがる、いわゆる Gondwana 大陸の安定地塊上に、また、北米・アジア両大陸の安定地塊上に、極めて大規模に発達して、全世界の炭田総面積の約 2/3 を占めている。

その後、中生代の三疊紀後期からジュラ紀（約2.3億年～1.5億年前）、白亜紀後期から新生代第三紀中期（約1億年～1,500万年前）も石炭形成の主要時期であった。

中生代の石炭は、大陸内部の大盆地に発達し、その規模は中程度である。

新生代の石炭は、造山運動を受け地殻変動の多かった地域に発達している。概して、小規模で炭質、炭層の厚さ、共に変化に富んでおり、形成時代が新しい割には、石炭化度が進んでいることが多い。特に、構造変形が強い場合や、火成岩の貫入がある場合には局部的に著しく石炭化度が進んでいることが多い。

一般に、安定地塊上の石炭は、地質時代における沈降等構造運動の度が少ない場合には石炭化度が低い傾向がある。例えば、ソ連のモスコウ炭田では、石炭紀の堆積にも拘わらず褐炭に留まっている。また、トルコ各地に発達する第三紀の褐炭の大半は、地域全体としてはアルプス・ヒマラヤ褶曲山脈帯に属するが、山脈と山脈の間の盆地に存在していて、ある程度の構造運動は受けているものの、全般的に見て石炭化度が低い傾向がある。

これは生成の時代が若いことによるものと思われる。

このように、石炭の形成される過程での根源物質や環境の違い、その後の石炭化作用に影響を与える地殻構造運動の強弱、これに地質時代と言う大きな時間の経過が加わり、様々の種類のいわゆる石炭（褐炭を含む）が形成され世界中の各所に存在しており、最も手っ取り早く利用できる化石燃料として、古くから人類の発展に寄与してきている。

3. 石炭資源の地理的分布と埋蔵量

地球上の油田の分布が非常に偏っているのは良く知られているが、石炭の分布は量的な偏りはあるものの、分布自体は石炭資源分布図（第1図）に示すように、北は北極圏内の地域から南は南極大陸に至るまで全世界に亘っている。

各大陸別に石炭資源を有する国の数を調べると、アジア州に18ヶ国、大洋州に3ヶ国（ニューカレドニアを含む）、アフリカ州に18ヶ国、ヨーロッパ州に22ヶ国、北アメリカ州に2ヶ国、南アメリカ州（中米を含む）に11ヶ国、合計74ヶ国となり、国連加盟国約160ヶ国の半分近くに及んでいる。

石炭資源は炭質により褐炭—亜瀝青炭—瀝青炭—無煙炭に大別される。この分類は褐炭から次第に炭化度が進むと共に水分が減り、炭素分が増して、発熱量が高くなる。その究極では揮発分も少なくなって無煙炭となり炭素に近づく。また、石炭は用途によっても、原料炭—一般炭—無煙炭の3炭種に分けられる。

石炭資源の将来を論じるには、これら分類に従ってそれぞれ最新の埋蔵量を出しておくことが必要であるが、現段階では難しく、1989年に行われた世界エネルギー会議（WEC）で発表された1987年における埋蔵量の数字を取り上げて参考とする（第1表）。

この表における埋蔵量は、炭質によって瀝青炭（無煙炭を含む）、亜瀝青炭、褐炭の3つに大別し、それぞれを確認度に従って確認埋蔵量（註1）、確認可採埋蔵量（註2）、および予想追加埋蔵量（註3）の3つに分級して表示してある。

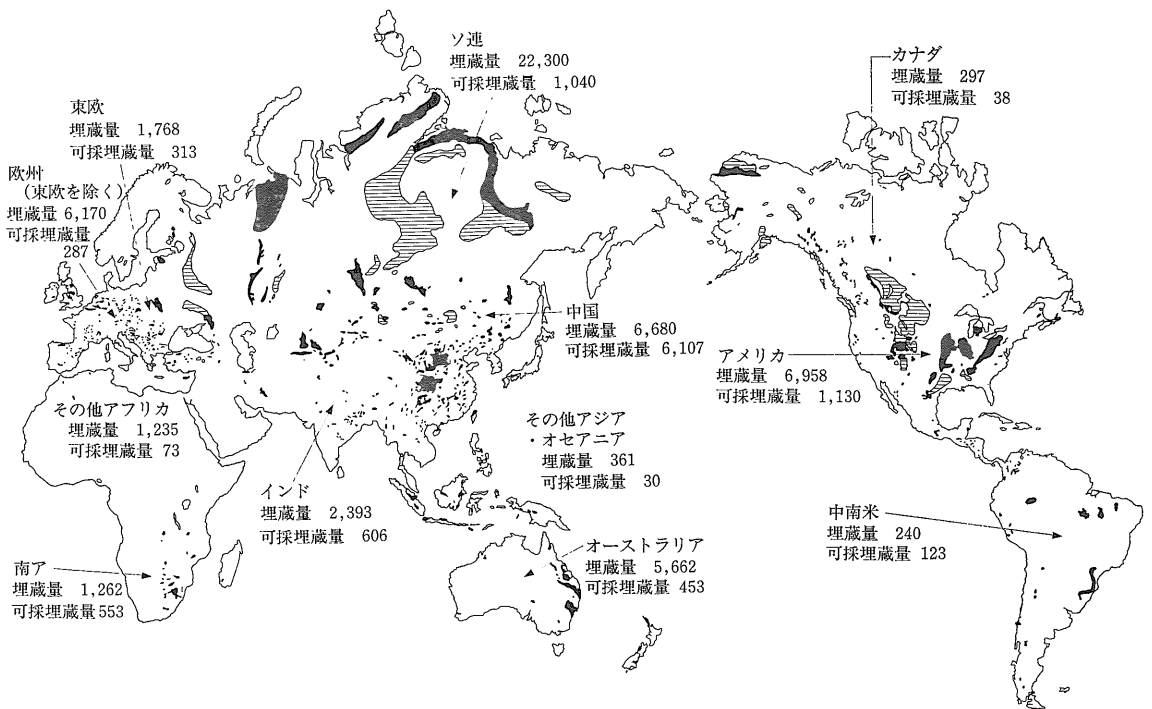
註1：確認埋蔵量：露頭・ボーリング等により詳しく測定され（一般的には確認点の間隔が1 km 以下の密度で行われたもの）、現時点および予想されるその地域の経済条件下において、現在の技術で採掘の対象となり得ると評価される炭層を対象として積み上げられた地下埋蔵量。

註2：確認可採埋蔵量：上記確認埋蔵量の内、現在の技術によって、原炭として採掘が可能と評価される地下埋蔵量。（確認埋蔵量の内数）

第1表 世界の石炭埋蔵量および生産量

(単位:百万トン)

大陸名/国名	瀝青炭(含無煙炭)			亜瀝青炭			褐炭			生産量(1987年)			
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	瀝青炭*1	亜瀝青炭	褐炭	計
アフリカ	134,235	62,631	115,496	1,412	264	1,018	146	15	3	221.4	0.8	—	222.2
アルジェリア	43	43	—	—	—	—	—	—	—	N	—	—	—
ボツワナ	7,000	3,500	100,000	—	—	—	—	—	—	0.3	—	—	0.3
中央アジア	—	—	—	—	—	—	4	4	—	—	—	—	—
エジプト	25	13	—	40	40	—	—	—	—	1.3	—	—	1.3
エチオピア	—	—	—	—	—	—	23	11	—	—	—	—	—
マダガスカル	1,000	—	—	—	—	—	75	—	—	—	—	—	—
マラウイ	25	12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
モロッコ	134	45	—	—	—	—	—	—	3	—	—	—	—
モザンビーク	240	240	155	—	—	—	44	—	—	0.8	—	—	0.8
ナイジェール	70	70	—	—	—	—	—	—	—	N	—	—	N
ナイジェリア	21	21	21	338	169	1,000	—	—	—	N	—	—	N
南アフリカ	121,218	55,333	5,000	—	—	—	—	—	—	214.0	N	—	214.0
南スワジランド	2,020	1,820	3,000	—	—	—	—	—	—	0.2	—	—	0.2
タンザニア	304	200	1,500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ザンビア	600	600	—	—	—	—	—	—	—	N	—	—	N
ジンバブエ	—	—	—	69	55	18	—	—	—	—	0.8	—	0.8
ジンバブエ	1,535	734	5,820	965	—	—	—	—	—	4.8	—	—	4.8
中・南米	19,774	12,326	4,202	8,810	3,159	8,179	141	123	7,383	24.1	11.3	—	35.4
アルゼンチン	—	—	—	195	130	385	—	—	7,350	—	0.4	—	0.4
ブラジル	—	—	—	3,276	1,245	6,980	—	—	—	—	6.8	—	6.8
チリ	79	31	125	4,500	1,150	—	—	—	—	1.7	—	—	1.7
コロンビア	16,524	9,666	—	—	—	—	—	—	—	15.0	—	—	15.0
エクアドル	—	—	—	25	—	22	—	—	—	—	—	—	—
エクアドル	—	—	—	—	—	—	28	23	5.7	—	—	—	—
ホンジュラス	—	—	—	21	—	—	13	—	27	—	—	—	—
メキシコ	1,569	1,252	1,960	793	634	792	—	—	—	7.0	4.1	—	11.1
ペルー	960	960	—	—	—	—	100	100	—	0.2	—	—	0.2
ベネズエラ	642	417	2,117	—	—	—	—	—	—	0.2	—	—	0.2
北米	231,528	116,803	494,010	176,666	82,893	291,924	43,078	22,511	401,703	614.0	201.0	81.0	896.0
カナダ	5,585	3,831	24,125	13,150	1,135	14,990	2,055	2,000	8,970	33.0	19.0	10.0	62.0
アメリカ	225,943	112,972	469,885	163,516	81,758	276,934	41,023	20,511	392,733	581.0	182.0	71.0	834.0
アジア	140,146	62,834	112,152	950	698	615	5,523	4,417	4,282	219.1	4.6	17.9	241.6
アフガニスタン	112	66	400	—	—	—	—	—	—	0.2	—	—	0.2
バングラデシュ	1,054	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ミャンマー	4.5	2.3	120	—	—	—	—	—	80	N	—	N	N
インドネシア	129,154	60,648	110,177	—	—	—	2,100	1,900	3,932	180.0	—	11.0	191.0
インドネシア	1,000	1,000	—	400	400	—	1,600	1,600	—	1.7	—	—	1.7
日本	8,348	856	—	—	—	—	175	17	—	13.0	—	—	13.0
韓国	238	158	1,377	—	—	—	—	—	—	24.0	—	—	24.0
マレーシア	15	4	78	—	—	—	305	—	—	—	—	—	—



第1図 世界の石炭資源分布図及びハード・コールの埋蔵量 (億トン)。

●：ハード・コール (瀝青炭+無煙炭), ●：低品位石炭 (亜瀝青炭+褐炭)

世界の瀝青炭 (無煙炭を含む) の確認埋蔵量の合計は約1兆7千億トンとなり、その内、可採埋蔵量は約1兆755億トンで、少なくとも1兆トンは採掘可能と見てよいことになる。

確認可採埋蔵量ベースで見ると、中国が6107億トン、米国が1130億トン、ソ連が1040億トンを計上しており、この3ヶ国で世界の約77%を占めている。

瀝青炭埋蔵量のベスト10に入る国としては上記3ヶ国の他、インド (606億4800万トン)、南アフリカ (553億3300万トン)、オーストラリア (453億4000万トン)、ポーランド (287億トン)、ドイツ (239億1900万トン)、コロンビア (96億6600万トン)、カナダ (38億3100万トン) が挙げられる。

世界の亜瀝青炭の確認埋蔵量は約2475億トンで、その内、約1308億トンが確認可採埋蔵量である。確認可採埋蔵量ベースで見ると、北米地域 (米国とカナダ) だけで約829億トンあり、世界の約63%を占めている。その他では、ソ連が370億トン、南米のアルゼンチン、チリ、ブ

ラジル3ヶ国で約80億トン、オーストラリアで37億8100万トン、東欧のハンガリー、ユーゴスラビア2ヶ国で約25億トン等が主な分布地域である。

世界の褐炭の確認埋蔵量は約5044億トンであり、その内、約3917億トンが確認可採埋蔵量である。確認可採埋蔵量ベースで見ると、中国が1200億トン、ソ連が1000億トン、ドイツが561億5000万トン、オーストラリアが419億トン、北米が225億1100万トン、東欧のブルガリア、チェコスロバキア、ハンガリー、ポーランド、ユーゴスラビアが合計で約368億トン、トルコが59億2900万トン、インドが19億トン、インドネシアが16億トン等が主要な分布地域である。

4. 世界における石炭の生産状況

世界における1987年の国別年生産量を瀝青炭 (無煙炭を含む)、亜瀝青炭、褐炭に分けて表示し、大陸別にまとめたものを第1表に併記してある。

石炭の代表的なものは瀝青炭であり、無煙炭を含めた1987年総生産量は約328億トンであった。生産量の順に主要生産国とその生産量を挙げると、中国の9億8500万トン、米国の5億8100万トン、ソ連の5億5000万トン、

註3：予想追加埋蔵量：確認埋蔵量に追加される推定または予想の地下埋蔵量。既知の鉱区周辺の未探査地域における存在予想量、または既知の石炭資源存在地域の未発見鉱区中の存在予想量も含む。

南アフリカの2億1400万トン、ポーランドの1億9300万トン、インドの1億8000万トン、オーストラリアの1億7900万トン、イギリスの1億トン、ドイツの7700万トン、カナダの3300万トン等である。

地域的にみると、アジア大陸では中国、ソ連の東半分、インド等がこれに属し、この3者を合わせると15億トン近くに達する。この他では、北米大陸（6億1400万トン）、ヨーロッパ大陸（4億5000万トン強）、大洋州（1億7950万トン）等である。

無煙炭や瀝青炭は石炭化度が高く、発熱量も高いので一次エネルギーとして石油同様に流通しており、用途にしたがって開発・生産されている。

生産方法は地域によって異なる。概して、昔は坑内掘が主であったが、特に、オイルショック後の1974年以降では、石油代替燃料としての一般炭需要が増加し、これに応えるため、条件の良い山では大型露天坑による開発が盛んに行われるようになってきた。しかし、近年では、坑内高能率機械化採炭技術の発達により、再び、坑内採炭が見直されてきている。

日本で生産されているのは瀝青炭で、1989年の生産量は約1150万トンであった。その内容は、三井三池炭鉱からの原料炭の生産を除き、大半が一般炭である。また、各炭鉱共、採掘深度が深くなって、炭価が輸入炭の約2.7倍になっており、政府の助成政策無しでは操業が難しくなってきた。

亜瀝青炭は瀝青炭に比べ石炭化度が低く、水分が多く、発熱量も低いので、遠距離への輸送は経済的でなく、主に暖房や局地発電に用いられているに過ぎない。1987年における生産量は瀝青炭の約1割、即ち、約32億トンであった。

主な生産国とそれらの生産量としては、米国が最大の1億8200万トン、ついでソ連が9500万トン、カナダが1900万トン、ブラジルが680万トン、スペインが490万トン、メキシコが410万トン、パキスタンが240万トン、オーストラリアが180万トン、フランスが160万トン等である。

地域的には、北米大陸が世界の全生産量の60%強を占め、ついでアジア大陸（ソ連）が約30%とこの両者で世界の生産量の90%以上を生産している。

褐炭は、水分、腐植酸、酸素が多く、炭素が少ないので発熱量が非常に低い。したがって、採掘したものを直ぐその場で燃焼させて発電する、いわゆる山元発電に用いられることが多い。1987年における生産量は割合に多く、約116億トンであった。

最大の生産国はドイツで4億1200万トンを生産している。次いで、ソ連が1億1500万トン、チェコスロバキア

が1億トン、ポーランドが7300万トン、米国とユーゴスラビアがいずれも7100万トンで、3000～5000万トン台を生産している国としては、オーストラリア、ギリシャ、トルコ、ルーマニア、ブルガリア、中国等がある。

地域別では、ヨーロッパ大陸が8億6130万トン、アジア大陸（主にソ連、中国、北朝鮮）が1億6600万トンで、両者を合わせて世界の約88%を生産している。

5. 日本における石炭の需要・供給

石炭の利用方法の中で、量的に最も大きいものはエネルギーとしての需要である。特に、1973年のオイルショック後は、石油価格が高騰し、石油代替エネルギーの開拓が要求された。石炭は、その分布が広範で、各国共手近に調達することができたこともあり、需要に応じて増産され、石油代替エネルギーの最右翼として利用され、今日に至っている。しかし、近年地球全体の環境問題が大きく取り上げられるようになり、石炭もその狙い上上がっているため、その利用にブレーキをかける向きもあるが、石炭利用技術の向上を図ることにより、ある程度解決されるものと思われる。

これらの傾向は世界的なものであるが、まず、身近に認識できる日本を中心にして、石油代替エネルギーとしての石炭の占める位置および国内における石炭の需要・供給の実態を概説する。

日本の石炭需要量は、1989年の通産省『エネルギー生産・需給統計年報』（第2表）によると1億1333万トンで、使用された石炭は、国内炭が1138万トン、輸入炭が1億195万トンであった。炭種別では、原料炭が16886万トン（国内炭67万トン、輸入炭6819万トン）、一般炭が4271万トン（国内炭1071万トン、輸入炭3200万トン）、無煙炭が177万トン（国内炭8千トン、残りは輸入炭）であった。これで分かるように、全使用量の約90%は輸入炭によって賅われている。

原料炭の91%は直接高炉による製鉄業により、また、7.5%はコークス製造業により消費されているので、殆ど全量近くがいわゆる製鉄業により消費されていることになる。

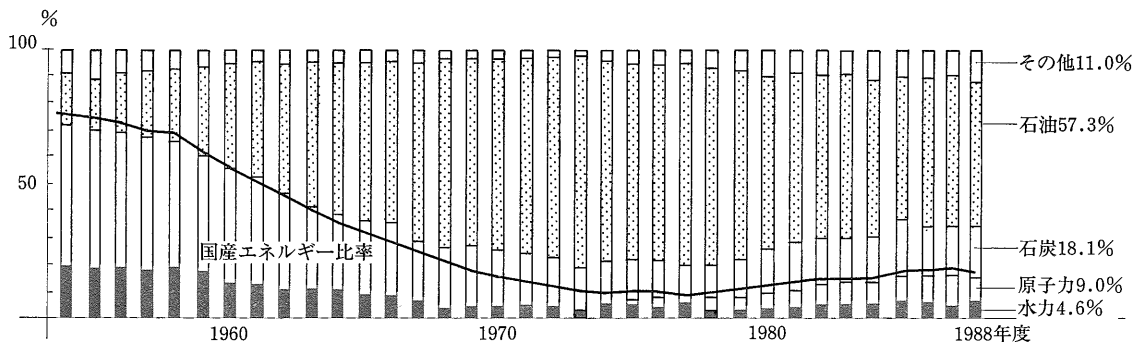
一般炭の大口消費者は電気業で、全量の約59%を消費している。この他の業種では、セメントを中心とした窯業・土石製品製造業が約23%を、また、化学工業が約10.5%、紙・パルプ・紙加工品製造業が約7%を消費している。

無煙炭の大口消費者としては、窯業・土石製品製造業と高炉による製鉄業があり、それぞれ、40%と36%、計76%を消費している。

第2表 1989年度の炭種別・業種別・内炭需要実績(単位:千トン)

	国内炭		輸入炭		合計	
	1989年度	前年比%	1989年度	前年比%	1989年度	前年比%
総合計	11,381	90	101,950	100	113,332	99
紙・パルプ・紙加工品製造業	81	63	2,811	115	2,892	112
化学工業	65	59	4,661	115	4,726	114
コークス製造業	143	56	5,040	100	5,183	98
煉炭・豆炭製造業	9	102	148	92	157	93
窯業・土石製品製造業	273	61	7,299	98	7,572	90
高炉による製鉄業	333	51	63,328	92	63,661	98
その他鉄鋼業	0	43	542	65	542	65
その他製造業	34	67	1,781	137	1,815	134
電気業	9,452	100	15,658	107	25,110	104
ガス業	188	66	652	114	840	98
その他(暖房用を含む)	803	59	31	35	833	58
輸出(韓国)	-	-	-	-	-	-
原料炭	667	56	68,191	97	68,859	97
化学工業	-	-	88	78	88	78
コークス製造業	143	56	5,010	100	5,153	98
煉炭・豆炭製造業	1	333	-	-	1	333
窯業・土石製品製造業	-	-	0	60	0	60
高炉による製鉄業	333	51	62,191	97	62,525	98
その他鉄鋼業	-	-	237	66	237	66
その他製造業	2	83	28	76	30	39
電気業	-	-	-	-	-	-
ガス業	188	66	636	114	824	98
その他(暖房用を含む)	0	52	-	-	0	52
一般炭	10,706	95	32,002	107	42,708	104
紙・パルプ・紙加工品製造業	81	63	2,811	115	2,892	112
化学工業	65	59	4,440	115	4,505	114
コークス製造業	-	-	29	277	29	277
煉炭・豆炭製造業	-	-	5	69	5	69
窯業・土石製品製造業	273	61	6,584	90	6,857	88
高炉による製鉄業	-	-	504	886	504	885
その他鉄鋼業	0	43	238	59	239	59
その他製造業	32	66	1,702	149	1,734	145
電気業	9,452	100	15,658	107	25,110	104
ガス業	-	-	-	-	-	-
その他(暖房用を含む)	803	72	30	96	833	72
無煙炭	8	94	1,757	108	1,765	108
化学工業	-	-	133	189	133	189
コークス製造業	-	-	1	72	1	72
煉炭・豆炭製造業	8	94	143	93	151	93
窯業・土石製品製造業	-	-	714	111	714	111
高炉による製鉄業	-	-	632	108	632	108
その他鉄鋼業	-	-	67	96	67	96
その他製造業	-	-	50	61	50	61
ガス業	-	-	16	95	16	95
その他(暖房用を含む)	-	-	0	12	0	12

資料:通産省「エネルギー生産・需給統計年報」(石炭年鑑,1990)



第2図 我が国一次エネルギー供給構成比率の推移(出所:総合エネルギー統計, コール・ノート, 1991).

資源エネルギー庁石炭部が調査した1989年までの産業別石炭需要の推移を第3表に示す(コール・ノート, 1991). この表からも, 原料炭は鉄鋼業に, 一般炭は電力, セメント等の業種により消費されていることが分かる.

日本の石炭産業は明治以来の長い歴史をもっており, その間に培われた技術は世界に比べて遜色ないものであるが, 資源の絶対量に恵まれず, 次第に採掘コストが割高となり, かつ, 1955年頃から始まったエネルギーの流体革命のため, 特に, 一般炭の需要が減って, 一旦, 一次エネルギー源におけるシェアの大半を石油に渡す結果となった. しかし, オイルショック後は石油の占める割合が漸減し, 原子力, 石炭, その他が僅かずつ増加してきている(第2図参照).

石炭の供給自体をみると, 第3図に示すように, イ) 原料炭は次第に増加しているものの, 国内産原料炭は1989年までに殆どなくなり, これに代わって輸入原料炭が殆どを占めていること, ロ) 一般炭は1973年までは一旦減少し, 1979年から増加するが, 国内炭の供給量が減少してしまったため, これに代わって輸入一般炭が増加してきていること等が分かる.

世界における石炭(瀝青炭・無煙炭)輸出国の主なものは, オーストラリア, 米国, 南アフリカ, ソ連, ポーランド, カナダで, これらに最近中国, コロンビア

第3表 産業別石炭需要推移(コール・ノート, 1991)

(単位: 万t)

項目	炭種	年度																
		1970	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	
原料 炭	鉄 鋼	輸入炭	4,725	5,819	5,744	5,401	4,870	5,305	6,063	6,118	5,704	5,737	6,287	6,332	5,949	6,211	6,435	6,237
		国内炭	985	734	694	665	645	646	642	402	364	338	331	315	170	120	80	40
	ガ ス	輸入炭	132	111	79	68	65	79	84	74	89	81	77	80	72	49	57	64
		国内炭	119	70	54	47	43	45	44	45	36	32	31	29	29	29	30	19
	コ ー ク ス	輸入炭	118	189	117	166	172	288	307	366	352	390	418	499	472	488	501	501
		国内炭	131	105	81	74	93	93	82	73	53	50	50	44	18	14	12	10
一 般 炭	パ ル プ 及 紙	輸入炭	—	—	—	3	2	3	3	14	35	51	73	90	148	186	245	281
		国内炭	48	8	5	2	2	12	24	33	41	40	34	29	17	17	13	8
	電 力	輸入炭	—	30	42	49	50	38	128	346	503	725	1,022	1,295	1,329	1,373	1,507	1,657
		国内炭	1,883	833	868	876	835	883	896	916	978	1,006	1,035	1,019	1,004	1,008	1,004	952
	化 学 工 業	輸入炭	14	20	29	29	19	26	39	41	81	111	212	282	329	349	404	467
		国内炭	35	6	2	1	0	2	2	2	1	2	9	25	17	16	11	7
	セ メ ン ト 及 窯 業	輸入炭	2	23	36	43	60	120	523	829	793	669	648	624	533	666	797	730
		国内炭	45	17	12	3	11	52	198	249	185	165	152	143	71	55	23	10
	暖 ち ゅ う 房	輸入炭	0	1	11	6	1	1	5	1	—	2	—	—	—	—	—	—
		国内炭	200	51	70	74	75	64	53	48	51	49	46	37	27	22	17	14
	運 輸 部 門	輸入炭	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		国内炭	56	4	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	そ の 他	輸入炭	103	45	38	59	49	74	118	87	82	107	123	165	119	103	226	253
		国内炭	483	159	150	105	60	92	183	204	182	184	158	137	124	94	99	90
合 計	輸入炭	5,094	6,238	6,096	5,824	5,288	5,934	7,270	7,876	7,639	7,873	8,860	9,367	8,951	9,425	10,172	10,190	
	国内炭	3,985	1,987	1,936	1,847	1,764	1,889	2,124	1,972	1,891	1,866	1,846	1,778	1,475	1,375	1,283	1,150	

(出所) 資源エネルギー庁石炭部調べ。

(注) 1. ガスおよびコークス部門には、鉄鋼からの受託炭を含まない。

2. 電力部門には、発電用炭のほか雑用炭が含まれている。

3. 暖ちゅう房は練豆炭を除いたもの。

第4表 国別・炭種別輸入炭入着推移

(単位：千トン)

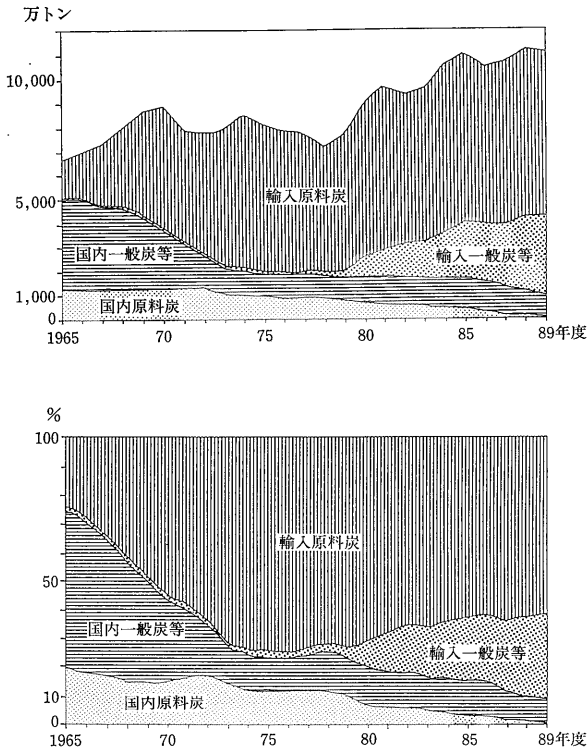
原 料 炭				
国名/年度	1975	1980	1985	1989
豪 州	23,104	26,303	30,027	30,775
米 国	21,471	20,775	12,803	9,864
カナダ	11,380	11,145	16,658	17,031
南 ア	110	2,837	4,601	3,284
中 国	-	958	1,213	1,211
ソ 連	3,140	2,009	3,367	5,409
その他	1,607	492	495	618
合 計	60,813	64,518	69,163	68,192

無 煙 炭				
国名/年度	1975	1980	1985	1989
豪 州	-	-	375	211
米 国	-	38	-	-
カナダ	148	24	-	-
南 ア	41	147	982	177
中 国	318	518	233	422
ソ 連	38	21	5	354
ベトナム	434	248	157	102
北朝鮮	48	89	349	483
合 計	1,027	1,086	2,101	1,749

一 般 炭				
国名/年度	1975	1980	1985	1989
豪 州	330	4,272	13,993	22,602
米 国	-	709	1,086	1,780
カナダ	-	600	851	1,362
南 ア	-	512	2,974	1,258
中 国	139	760	2,230	2,477
ソ 連	31	245	1,046	2,149
インドネシア	-	9	239	418
合 計	500	7,107	22,428	32,045

原料炭/無煙炭/一般炭				
国名/年度	1975	1980	1985	1989
豪 州	23,434	30,575	44,395	53,588
米 国	21,471	21,522	13,889	11,644
カナダ	11,528	11,769	17,519	18,393
南 ア	151	3,496	8,557	4,719
中 国	457	2,236	3,676	4,110
ソ 連	3,209	2,275	4,418	7,912
ベトナム	434	248	157	102
北朝鮮	48	89	349	483
インドネシア	-	9	239	418
その他	1,607	492	495	618
総合計	62,339	72,711	93,691	101,987

(出所) 通産省大臣官房調査統計部：エネルギー統計年報



第3図 我が国石炭供給の推移(上)及び石炭供給構成比の推移(下). 注：一般炭等の中に無煙炭・せん石を含む. 国内は生産で在庫からの供給等含まず輸入は入着ベース. (出所：エネルギー生産・需給統計年報、コール・ノート、1991)

が加わってきている。これらの内日本に輸出している国としては、第4表に示したように、オーストラリア、カナダ、米国、ソ連、南アフリカ、中国が挙げられる。この他、無煙炭供給国として北朝鮮、ベトナムが、また近年一般炭供給国としてインドネシアが目ざれつつある。

輸入炭の炭種としては、原料炭、無煙炭および一般炭の三炭種がある。1989年における輸入量は、第4表に示す通り総計で約1億200万トンであり、原料炭が約6820万トン、無煙炭が約175万トン、一般炭が約3200万トンであった。

これらの輸入炭の確保については、過去に民間の商社を中心としたたゆまぬ努力が行われた。1950年代、米国原料炭のスポット輸入が始まった頃は、石炭の輸入量は年間70万トン強に過ぎなかった。その後、1960年代からの高度成長時代における粗鋼生産量の増大に伴う原料炭需要の増加に対し、当初は長期契約で対応していたが、さらに安定供給の確保のため、投融資による海外原料炭鉱山に対する資本参加の形が取られるようになった。こ

れが第一期石炭(原料炭)ブームと呼ばれる。この時の投融資の対象になったのがオーストラリアのボーエン炭田とカナダのロッキー山麓炭田であった。

1973年から始まった二度の石油危機を経て、原料炭に加えて一般炭の需要が急増してきた。その結果、需要が供給を上回って炭価の上昇が見込まれたため、1980年頃から日本企業による海外炭の開発が積極的に行われるようになった。この第二期石炭ブームとも呼べる状態が1980年代前半まで続いた。特に、一般炭については、主としてオーストラリアにおいて電力業界の進出が活発に行われ、投融資の方式の中には、共同企業体に資本参加してエクイティ(株式権益)を取得する開発輸入方式も出てきた。

1989年の後半から現在にかけては石炭ブーム第三期と呼ばれるもので、その初期には欧米における需要の増大等により供給がタイトになったが、供給国の外資規制の緩和等により、投資ブームとなってきた。その結果、現在では供給力が上回ってきて、多くのプロジェクトが待

機を余儀なくされている状況にある。

現在、日本企業が資本参加している海外炭鉱の数は全部で58ある。その内、操業しているものの数は35であり、開発中、探鉱中または待機中のものが23ある。地域的には、オーストラリアが最も多く44（内操業中29）、カナダが10（内操業中5）、米国が2（内操業中1）、ニュージーランドとインドネシアが各1（いずれも待機中）となっている。これら海外炭鉱に資本参加している企業の大半は商社であるが、石油・石炭会社も最近積極的に資本参加し始めている。

1989年における開発輸入炭の合計は約4500万トンと見られ、総輸入量の約43%に相当している。

6. 石炭の利用技術と環境問題

既述の通り、石炭の賦存は、世界的にも広範に亘っている上、その賦存量も膨大であることから、その供給安定性が非常に高い。また、経済性についても他のエネルギー源と比べて優位にある。したがって、石油代替エネルギーとしては中核的な存在であると言って良い。

先述したように、当初、我が国の石炭需要は鉄鋼用原料炭を中心として拡大してきたが、第二次石油危機以降は、電力やセメント業界を中心とする一般炭需要の急速な増大により、年間需要が1億1000万トンに達するに至った。特に、一般炭については、一般産業や中・小ロユーザーにおける燃料の石炭転換も徐々に行われるようになって益々需要が伸びる傾向にあると言えよう。

しかし、1970年代以降、欧州及び北米を中心に問題となった酸性雨による森林破壊、湖沼の酸性化等の環境破壊や、1988年夏の北米等における干ばつ及び異常気象を契機として起こった地球温暖化現象が、主に、化石燃料の燃焼により発生する二酸化炭素や亜硫酸ガスに起因しているとして、化石燃料の使用が地球環境破壊の槍玉に挙げられている状況にあるので、石炭の使用も抑制すべきであるとの論議も出て来ている。

我が国では、従来から石炭の公害問題については積極的に対処してきているが、今後は酸性雨・地球温暖化問題についても適切な対応を行いつつ、環境負荷低減に対し、より積極的な対応が望まれる。

酸性雨問題については、脱硫、脱硝装置の設置あるいは流動床ボイラーの導入等により技術的な対応は可能である。我が国の石炭火力発電所における脱硫、脱硝装置の設置率はそれぞれ約84%、約56%（1989年出力ベース）で世界最高水準にあると言える。

地球温暖化問題については、燃焼設備における熱効率の改善により、単位発生エネルギー当たりの石炭使用量

を減少させることで、その要因の一つとされている二酸化炭素の発生量を、かなりの程度までは抑制することが可能である。より抜本的な対応策としては、二酸化炭素の固定化についての技術開発が進められている。

政府は、1989年11月、総合エネルギー調査会の中に石炭部会を設置して、今後の石炭利用の在り方について審議を行い、1990年6月、中間報告としてエネルギー資源としての石炭の位置付けと評価を次のように取りまとめた（コール・ノート・1991）。

イ）石炭は他のエネルギー資源（石油・天然ガス）と比較して供給安定性及び経済性に関して優れたエネルギーである。

ロ）ばいじん、硫黄酸化物、窒素酸化物に関しては環境負荷軽減のための努力を行ってきた結果、世界最高レベルの『クリーンコール』として使用され、環境負荷は、ほぼ石油並みを達成し得る状況である。

ハ）石炭は、二酸化炭素排出量抑制のため不断の努力を行いつつ、今後とも石油代替エネルギーの重要な柱として、引き続きその利用の円滑化を図ることが適当。

これら石炭の利用についての新しい方向づけ、即ち、石炭利用について必要不可欠な未知の分野の開拓“コールフロンティア”に積極的に取り組む必要がある。資源エネルギー年鑑（1989）によれば、当面の具体的な目標としては、次の三つの分野に分けて対応することを必要としている。

イ）クリーンコール：石炭を巡る環境問題への積極的な対応

ロ）コールルネッサンス：技術をテコとした石炭利用の推進と流通加工システムの整備

ハ）コールフロー：石炭の安定供給確保のための戦略的構築と石炭分野での国際協力の推進

第5表（資源エネルギー年鑑、1989）に1978年以来の石炭利用技術開発全体計画を示す。この表からも分かるように、現在取り進められている重点開発課題は、要約すると次の通りである。

1) 排煙処理技術を確立すると共に、石炭をクリーンエネルギー化し、環境保全の向上と効率の向上を図るものとしては、

イ）乾式脱硫技術：従来の脱硫は、湿式石灰石-石こう法が主流であったが、設置スペースが大きく、多量の用水及び排水処理埋施設を必要とし、効率は良いが費用がかさんだ。乾式法では排ガスを活性炭を充填した移動床を通過させ、排ガス中のSO_x及びNO_xを同時に除去する。SO_xは高濃度のSO₂ガスとなり、硫黄回収プロセスに導かれて単体硫黄として副生される。

第5表 石炭利用技術開発全体計画（資源エネルギー年鑑，1989一部省略）

重点課題	技術の概要	目 標	開 発 の 現 状
1. 排煙処理技術 1) 乾式脱硝 2) 乾式脱硫 3) 集塵技術	NOxの除去 SOxの除去 超微粒子煤煙の除去	効率80% NOx 排出濃度60ppm (現行300ppm) 効率95% SOx 排出濃度50ppm (現行K値規制) 0.01g/Nm ³ 以下 (現行基準0.2~0.8g/Nm ³)	基礎研究，パ試験終了(78~80) 80万Nm ³ /h実証プ，試験終了(竹原;78~83) 1万Nm ³ /hパ，プ，試験終了(竹原;78~81) 30万Nm ³ /h実証プ，運転中(松島;80~89) 10万Nm ³ /h実証プ，試験終了(竹原;81~86)
2. 流動床燃焼技術	炉内脱硝，NOxの抑制ができ、炭種の拡大ができるボイラーの開発	低公害性/SOx95%，NOx 60ppm，煤塵0.1g/Nm ³ 電力用，産業用ボイラーの開発	蒸発量20t/hパ，プ，試験終了(若松;78~83) 蒸発量160t/h実証プ，運転中(若松;81~92)
3. 石炭スラリー技術	微粉COM，高濃度スラリーの製造・燃料化技術の確立	①電力用技術の確立 ・微粉COM ・高濃度スラリー(CWM) ②産業用技術の確立 ・高炉へのCOM吹込 ・一般産業用ボイラーのCWM転換	1t/hパ，プ，試験終了(78~79) 10t/h実証プ，試験終了(竹原;80~85) 1.5t/hパ，プ，試験終了(若松;80~89) 10t/h実証プ，計画中(松島;90~92) 20t/h実証プ(高炉)，(20t/h羽口40本) 運転終了(鹿島;78~83) CWM製造5.5t/h実証プ，運転中(85~90)
4. 石炭のハンドリング技術 1) コールクリーニング 2) CCS技術 3) 低品位炭利用技術	石炭の親油性を利用して脱灰 石炭の高効率・安全な輸送・貯蔵技術 褐炭，亜漚青炭の脱水，自然発火防止等	脱灰効率の向上，油添加量減少 経済的無公害な微細粉炭供給システムの開発 脱水効率の向上，自然発火，炭じん爆発等安全技術の確立	2m ³ /h小規模試験装置，運転終了(舞鶴;78~83) 5t/h実証プ，試験終了(徳山，岩国;84~87) 運転中(岩国) 0.5t/hパ，プ，運転中(若松;78~87) 35t/h実証プ，設計中(86~88)
5. 下廃水処理とスラッジ炭の熱利用	石炭で都市下水を浄化し，回収スラッジをエネルギー化する	連続操業技術の確立と大型装置での実証	250m ³ /実証プ，(門型)運転終了(大阪;78~83) 90m ³ /h，(角型)運転終了(大阪;82~83)
6. 成型コークス製造技術	一般炭を主原料として新型乾留炉で連続的にコークス化	装置の連続化，自動化，炭種範囲の拡大	200t/dパ，試験終了(八幡;78~86)
7. 石炭灰技術 1) 有効利用技術 2) 処理対策	有価物回収，人工骨材，路盤材，軽量骨材等の開発 高アルミナスラグセメントの開発	低コスト・大量利用技術の確立 アッシュセンター事業場の立地適地選定	ベンチ又はパ規模で研究中(80~92) 環境調査(80~86)
8. 石炭部分燃焼炉	一般産業用石油焚きボイラー本体前に小型燃焼炉を設置し，石炭転換	燃焼炉で灰を溶融灰として85%以上回収，2段燃焼により低NOx化を図る	0.3t/hベンチスケール，試験終了(明石;84~86) 1~2.5t/hパ，試験中(85~89) 10t/h実証プ，計画中(89~92)
9. 石炭直接利用製鉄技術	一般炭，鉄鉱石を乾留予備還元し，溶融還元法により溶銑を生産	代替エネルギー効果が大きく，かつ石炭供給源を拡大させる新溶融還元法の確立	要素研究及びパ，プ研究，要素研究中(88~92)
10. 低カロリーガス化	石炭を空気，水蒸気で低カロリーガス化(1,200kcal)これを燃料として，ガス/スチーム複合発電する	・高効率ガス化炉の開発 ・生成ガスの乾式クリンアップ化 ・高効率発電システムの開発	流動床パ，40t/dプ運転終了(夕張;78~87) 実証プ，1,000~2000t/dプ設計終了(NE DO→電発;82~87) 噴流床パ，プ，200t/hパ，プ製作中(NE DO;83~92)
11. 高カロリーガス化 (ハイブリッドガス化) 中カロリーガス化	石炭にアスファルトを加え，酸素，水蒸気でガス化(流動床方式) 酸素吹噴流床	・ガス化効率の向上 ・エンジニアリング技術の確立 ・低コスト水素製造	7,000m ³ /dパ，プ，運転終了(いわき市;79~86) 20t/dパ，プ，設計，建設中(NEDO;83~92)
12. 石炭液化 1) 漚青炭液化 イ) 溶剤処理法 ロ) 直接液化法 ハ) ソルボリシス液化法 2) 褐炭液化 3) E D S	石油代替可能な合成油等の燃料を製造 水素供与性溶剤で液化 石炭に水素を直接添加し分解液化 水素供与性重質溶剤による二段液化 豪州褐炭を対象とした二段液化 水素供与性溶剤存在下無触媒で液化	・液化収率の向上 ・液化装置のエンジニアリング技術の向上 ・装置の大型化	250t/dパ，プ，詳細設計終了(予定;鹿島;78~92) 50t/dパ，プ，試運転中(豪州ヴィクトリア;82~89) 250t/dパ，プ，運転研究終了(米国;78~82)
13. 高性能石炭火力技術	超高温に耐えるボイラージュブ，蒸気タービンの開発	プラント熱効率の向上	試験中(82~92)

パ：パイロット，プ：プラント

脱硫率は湿式と同等以上である。

ロ) 乾式同時脱硫脱硝技術：上記乾式脱硫に触媒による脱硝を加えたものである。脱硝は、チタン-バナジウム系の触媒のもとに、約350℃の排ガスをアンモニアと反応させることにより、排ガス中のNOxを還元してN₂として取り除く方法がとられる。この方法は用水も少なく、排水処理を必要としない。脱硫率95%以上、脱硝率80%、除じん率(出口)30mg/Nm³以下が期待できる。

ハ) 高性能集じん技術：乾式ESP方式が採られている。コロナ放電を利用してボイラ排ガス中の微粒子に電荷を与え、帯電粒子を集塵電極に捕集する技術で、集塵率99.5%以上、集塵されたフライアッシュは機械的衝撃力等で脱落させる。この時のダストの再飛散防止に水膜式ESPが用いられる。

ニ) 流動床燃焼技術：ボイラ下部から粗粒炭と石灰石を吹き込み、流動状態で石炭を燃焼させると同時に、石灰石による脱硫を行う方式で、ダストの量が少なく、低NOx(灰をリサイクルさせ炭素による脱硝効果で50%位までは脱硝できる)で運転できる。最近加圧流動床が開発されつつあり、これが成功すれば、大型発電が可能になる上、ガスと蒸気による複合サイクル発電システム(後述)の採用が可能となり、プラント効率を向上し得る。期待値は、プラント熱効率41.5%、脱硫率90%(Ca/S=1.6)、及び燃焼効率99.8%である。使用し得る石炭の種類は広範で、高硫黄炭でも、低品位炭でもよい。石炭利用開発センターと電源開発㈱は1989年度から7万kW実証プラントの詳細設計を行っている。

2) 石炭の輸送、貯蔵等ハンドリングを向上し、燃料の石炭転換を促進するものとしては、

イ) 石炭流体化混合燃料技術(高濃度水スラリー)：石炭を200メッシュ通過70~80%の微粉として、石炭と水を7:3の割合で混合する。これに添加剤を加え懸濁安定化させた流体状のものをボイラの中に吹き込み燃焼させる方式である。使用石炭が低灰、低硫黄、高発熱量のもの程良いので炭種が限られるのと、脱硫効果が流動床程良くなく、熱効率は普通ボイラに比べ2~3%劣るが、ハンドリングが石油並であり、今後新設火力発電や一般産業用油焚きボイラのリプレース時の燃料として期待されている技術である。

ロ) 石炭部分燃焼炉技術：油焚きボイラをそのまま石炭焚きに変えると、NOx増大、灰の回収、出力低下等の問題があり実用化できない。従来にない超高火炉負荷の燃焼室で石炭と油を高温還元雰囲気燃焼させることにより上記問題点を解決し、石炭焚き転換を容易に

する。コール・カートリッジ・システム(CCS後述)採用により転換が促進されると思われる。

3) 石炭を高度利用し、未利用資源の有効利用を図るものとしては、

イ) 褐炭等低品位炭の有効利用技術：低品位炭は高水分で活性が強いため、山元発電以外では利用価値が低かった。これら褐炭、亜瀝青炭の利用を目的として、高温高压過熱蒸気による脱水法であるDKプロセスを開発、ラボにて圧密脱水炭を製造改善中。

ロ) 石炭直接利用製鉄技術：現在の製鉄法の主流は高炉法である。この方法は大量生産には高能率であるが、生産調整については弾力性がなく、また原料としてコークス用粘結炭を必要とするというような制約がある。さらに高炉法はコークス炉や焼結炉による事前処理が必要であるし、一旦休止すると炉の内壁等を補修し直さなければ再使用できない。熔融還元法は鉄鉱石と石炭を粉状のまま直接流動層で予備還元乾留した上、熔融還元炉で銑鉄を製造する技術で、年産3万トン程度の小型設備とすることも可能である。鉄鉱石も焼結用粉鉱石、微粉碎鉄鉱石、砂鉄、鉄くず及びこれらの混合物で良い。石炭も低品位の一般炭、褐炭、無煙炭、揮発分を抜いたコールチャー、粉コークス、等炭素系であれば使用できる(方法によっては炭素分50%以上、灰分20%以下、硫黄及び燐分は少ない方が良い)ので、炭価の安いものを使用し得るメリットがある。発生ガスもクリーンエネルギーとして所内の他施設でそのまま燃やせる他、ガスタービン発電用燃料、一酸化炭素からの水素製造、CO及びCO₂を利用してC₁ケミカル分野への進出、メタンガス製造等広い範囲での利用が期待できる。

4) 石炭及び石炭灰がもつ物理的、化学的性質を利用して、再資源化と新規需要分野を開拓するもの

イ) 石炭灰の有効利用技術：発電及び一般産業用ボイラからの石炭灰の発生量は、1985年で465万トンとみられ、その内セメント原料及び混和剤としての有効利用分は26.5%のみで、あとは廃棄されている。セメント以外では以下の利用技術開発が行われている。

- ①ボード製造における珪酸原料の代用にする技術、②石炭灰の持っているポズラン質による凝結硬化反応を利用して舗装材、路盤材、路床材、埋め戻し材、充填材に利用、③コンクリート用軽量骨材、④アスファルトの安定化と骨材のフィラー(5%程度)に石灰石粉の代用として利用、⑤カリ肥料製造(石炭灰中のカリウム成分を配合造粒焼成したもの)、⑥酸性土壌改良剤(灰の持つ強アルカリ性を利用)⑦防錆塗料(厚い塗膜形成のため混入)、⑧脱硫剤製造(石灰石を主原料とし、これに石炭

灰、排脱石こう等を配合製造)、⑨有価物回収(フライアッシュの物理的処理によりマグネタイト、セノスフェア(中空灰)を、化学的処理によりアルミナ、酸化鉄、酸化チタン等の回収を行う)等。

5) 石炭を新エネルギー源として液体化、グリーンエネルギー化し、効率的に利用するもの

イ) 石炭ガス化複合サイクル発電技術: 流動床ガス化技術と噴流床ガス化技術がある。前者は現在40トン/日のパイロットプラントで実証中である。ガス化炉は20気圧、1塔2段流動床型で、石炭を上段において空気と下段からの熱ガスとでガス化し、残渣チャーをレバルブとサイクロンで下段に戻して水蒸気の混ざった空気で燃焼する。脱硫は、酸化鉄を流動床の吸収塔と再生塔との間を循環させて硫黄化合物とし、無煙炭で単体硫黄に還元して回収することによって行われる。原料石炭の範囲が広く、冷ガス効率は76%、脱硫率95%、脱じん率99.9%に達している。

後者は、30気圧、2室2段噴流床型のガス化炉で、下段(コンバスタ)で原料石炭の一部とガス化回収チャーを灰熔融点以上の温度で燃やし、高温ガスを得ると共に、灰をスラグとして排出する。原料石炭の残りは上段底部(ディフューザ)に装入され、下段からの高温ガス流で分散されながら熱分解し、上段頂部(リダクタ)に昇ってガス化する。1983年にプロジェクト発足、1986年度には200t/dパイロットプラントの設計を開始、1989年度以降4年間で試験予定。

ロ) 高カロリーガス製造技術: 石炭と重質油の混合スラリーに酸素と水蒸気を加えて反応させ、5000kcal/Nm³程度の高カロリーガスを製造する技術。1976年、パイロットスケールのプロセスに必要な要素技術としては、加圧流動層ガス化炉、高压スラリー供給装置(ハイドロホイスト)、流動層クーラを取り上げ、パイロットプラントの規模としては、9000kcal/Nm³換算でガス量7000m³/d、スラリー量にして12t/dと設定している。1986年に試験を終え、実証プラントへの移行が可能な状況にある。

ハ) 石炭液化技術: 褐炭と瀝青炭の液化が試みられている。褐炭液化は日本/オーストラリア両国政府の合意の下、オーストラリア、ビクトリア州の褐炭を対象として50t/d(原炭150t/d)規模のパイロットプラントを建設、試験中である。脱水にはチューブドライヤーとスラリー脱水法を併用(含水率60%)、独自に開発した“褐炭2段液化プロセス”により430~450℃、150~200kg/cm²で液化し、50%以上の軽・中質油を抽出する。

瀝青炭液化技術は、1975年以降、溶剤抽出法、直接水

添法及びソルボリシス法の各長所を集め“NEDOL プロセス”を開発している。瀝青炭、低品位瀝青炭を液化して430~450℃、150~200kg/cm²の条件下で活性鉄触媒とリサイクル溶媒の水素添加により作られる水素供与性溶媒を用いて50%以上の軽・中質油を製造する。商業プラント実現のため、1984年に民間企業により日本コールオイル社が設立され、250t/dパイロットプラントを建設中で、1991年から試験運転開始の予定である。

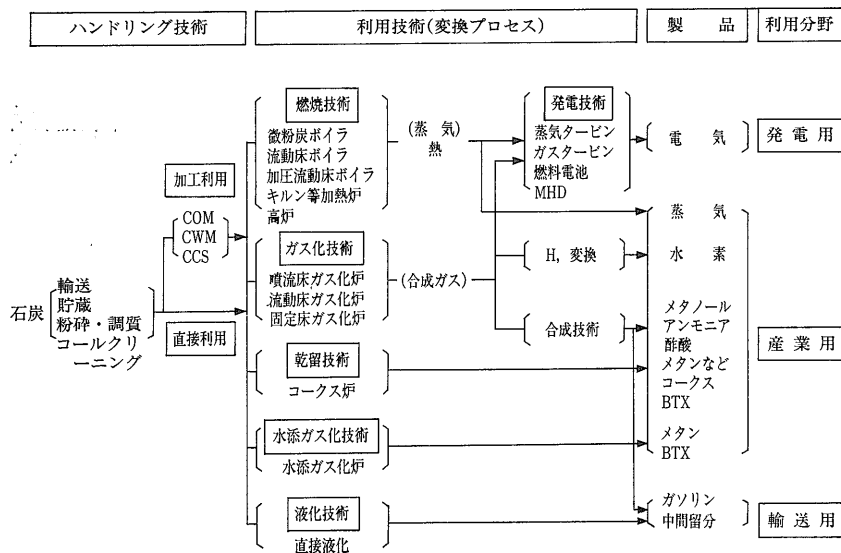
・この他、独自で石炭のハンドリング・精製・燃焼等の改善・開発を実施している民間企業もある。例えば、出光興産(株)によるクリーン・コール・テクノロジーとハンドリング技術の推進は良い例であるので概説する(高城、1991)。

石炭のハンドリングは原炭としてそのまま利用する場合と加工して使い易い状態にして利用する場合とがある(第4図参照)。現在石炭を使用している大半、即ち電力、一般産業用大型ボイラ、セメント焼成キルン等は前者の形態をとっており、固体ハンドリングの技術が必要となる。後者は原炭を混炭、粒度調整、調湿等により加工炭(調質炭)とした上で疑似流体化(CCS, CWM, COM)し、そのまま燃焼もしくは原料として使用する。

石炭の固体ハンドリングにおける公害防止対策の例としては、千葉県袖ヶ浦に在る出光バルクターミナルの炭塵飛散防止システムが挙げられる。ここでは、連続式揚炭機を採用し、炭塵の発生しやすい箇所にはバグフィルターを設置、移送コンベアは完全密封型のパイプコンベアを採用(戻り側も同じ)し、粉塵飛散、落炭防止を行っている。貯炭場における炭塵飛散防止には、堰堤上に多孔板を用いた特殊フェンス(遮蔽率60%)を、主要機器(揚炭機かきとり部、コンベア乗継ぎ部等)に散水用ノズルを、貯炭場に気象モード及び炭塵飛散量を常時監視して自動的に散水する装置を、それぞれ設置している。

石炭の加工ハンドリングについては、微粉化し粉体として使用する(CCS)方式、水、添加剤を加えスラリー状にする(CWM)方式および微粉、重油、添加剤を加えてスラリー状にする(COM)方式があるが、今後前二者が主流となろう。

CCS(コール・カートリッジ・システム)は、一般産業の中・小口需要家向けに開発されたもので、同社では愛知製油所構内に20万t/年規模のプラントを設置して稼働している。石炭は混炭調合され、200メッシュ80%の粒度に粉碎された後、サイロ(680m³X4基)に貯蔵される。サイロからバルクローリー(9.5tまたは13.6t)への払出しはクリーンローダー(2重管式払出し設備:内管からCCSを排出し、内管と外管の間を通してローリー内のガスを排出する



第4図 石炭のハンドリング技術と利用技術体系 (高城, 1991).

COM: コール・オイル・ミクスチャ CWM: コール・ウォーター・ミクスチャ
 CCS: コール・カートリッジ・システム MHD: 電磁流体発電
 BTX: ベンゼン, トルエン, キンレンの総称

方式) により行われる。ローリー内の炭塵爆発防止には車からの排気ガスか窒素ガスを利用して行う。また、サイロ内には温度計とCO濃度計を設置し、管理値を定めて管理している。

CWM (Coal Water Mixture) については前述した通りで、日本COM(株)小名浜事業所で製造され、2000DMTタンカーで苫小牧市にある出光興産(株)北海道精油所に輸送され、3ヶ月に亘って実証試験が行われた。

また、別の例として注目すべきは、製鉄用コークス製造における一般炭使用率アップについての努力である。従来は原料炭のみが使用されてきたが、その炭価が一般炭に比べ約20~30%割高であるため、これの対応策として、各社共コークス用炭種の幅を極力拡大し、コスト低減に努めている。現在では一般炭の配合比を25%程度まで引き上げられるようになっている。この目的のために用いられている技術の一つとして練・豆炭製造業者によって培われた成型技術の導入があり、これによりコークス製造において約20%の非粘結炭の使用が可能となった(BBCP法:ブリケット・ブレンド・コーキング・プロセス)。将来は一般炭使用率を80%程度まで上げ得るような成型コークス製造に移行していくことが予想される。

従来、石炭は汚くて取り扱いにくい、との印象を与えてきたが、今日ではクリーンで扱い易く、環境公害も少ない燃料に変わってきている。また、コスト面でも他のエネルギー資源と同等か、いくらか有利な方に属するようになったとも言えよう。

なお、ODAの対象国である発展途上国では、例えば排煙処理技術の中の粉塵処理技術についてみても、技術力不足のため円滑な運転が行われていないものもある。更にSO₂対策に至っては考慮中の段階であるし、NO_xやCO₂対策等はまだまだ先の話という状況にある。

従って、今後のODAプロジェクトにおいては、先づエネルギー利用効率の改善、低コストで副産物の得られる脱硫・脱硝装置の導入等、日本で開発された環境対策技術を盛り込んだ援助を、相手国の事情に応じて行っていく必要がある。

7. 日本における長期エネルギー見通しと石炭資源

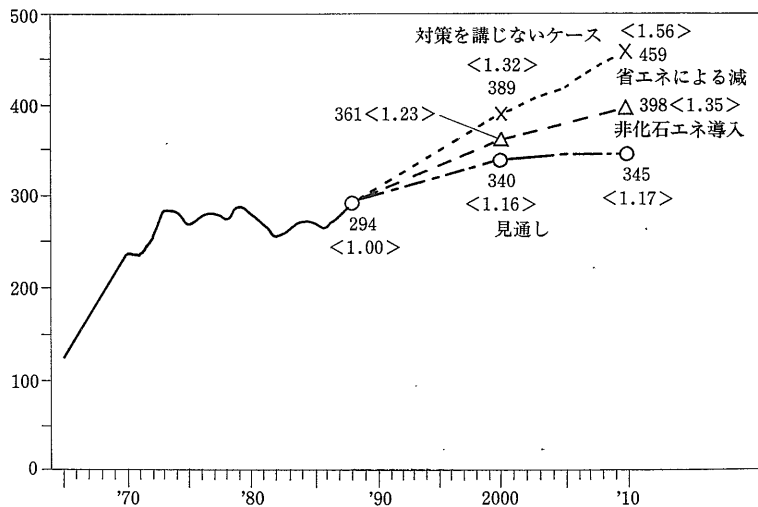
1990年6月、総合エネルギー調査会は中間報告として我が国の長期エネルギー需給見通しを取り纏めた。同報告では、1988年(実績)、2000年、及び2010年について、一次エネルギー総供給量、省エネルギー目標、エネルギー別構成割合を予測している(第6表)。石油は増加するLPGの使用量を含めても漸減の傾向にあり、代わって新エネルギー及び原子力の割合が伸びている。石炭は2000年まで絶対量は増すがその割合は減少して2010年では、絶対量は2000年と同じであるが構成比は減少している。石炭の供給安定性は高く、経済的にも優位にあるものの、他エネルギーに比べてCO₂の発生量が多いことが、その導入量の増大を見合わせた理由である。参考とし

第6表 日本の長期エネルギー需給見通し（コール・ノート，1991）

年度	1988年度（実績）		2000年度		2010年度	
項目	4.82億kl		5.97億kl		6.66億kl	
省エネルギー目標			6.0%		11.2%	
区分	実数	構成比（%）	実数	構成比（%）	実数	構成比（%）
エネルギー別						
新エネルギー等	610万kl	1.3	1,740万kl	2.9	3,460万kl	5.2
水力	860億kwh (2,030万kW)	4.6	910億kwh (2,270万kW)	3.7	1,050億kwh (2,620万kW)	3.7
地熱	40万kl	0.1	180万kl	0.3	600万kl	0.9
原子力	1,790億kwh (2,890万kW)	9.0	3,300億kwh (5,050万kW)	13.2	4,740億kwh (7,250万kW)	16.7
天然ガス	4,610万kl	9.6	6,500万kl	10.9	8,000万kl	12.0
石炭	11,460万t	18.1	14,200万t	17.4	14,200万t	15.5
石油（うちLPG）	2.76億kl (1,740万t)	57.3	3.08億kl (2,200万t)	51.6	3.06億kl (2,300万t)	46.0
合計	4.82億kl	100.0	5.97億kl	100.0	6.66億kl	100.0

- (注) 1. 原油換算は9,250kcal/lに、バレル換算は6.29バレル/klによる。
 2. 新エネルギー等の欄には、太陽エネルギー、アルコール燃料、黒液（パルプ液）、薪炭等を含む。
 3. 水力の発電電力量及び設備容量は一般水力のものである。
 4. LNGのトン換算は0.712トン/klによる。
 5. 石油の欄には、オイルサンド・シェール油を含む。
 6. 構成比の各欄の数字の合計は、四捨五入の関係で100にならない場合がある。
 7. 経済情勢及びエネルギー情勢は、今後、流動的に推移するものと見込まれることから、本見通しにおける数値は、硬直的なものとしてではなく、幅をもって理解すべきであることに留意する必要がある。

百万トン-C



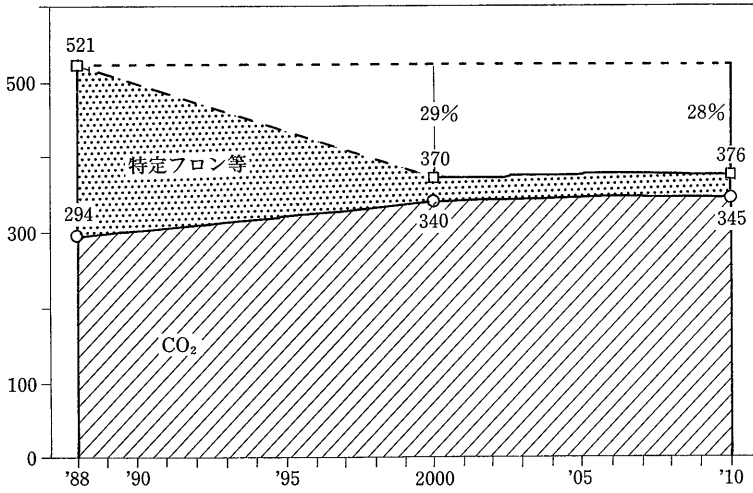
第5図 CO₂ 排出量見通し 注：グラフ中の数値はCO₂排出量，< > は1988年度実績を基準とした倍率（石炭技研，1989b）。

て、第5図にCO₂排出量見通しを、また、第6図に温室効果ガスの排出量見通しを示す（根井，1990）。

2010年以降において、全エネルギー資源の中で占める石炭の使用割合についての公式予測はないが、その賦存量の膨大さと供給安定性の良さから、石炭利用の増減は地球環境問題の中心課題であるCO₂対策の成否いかにかかっていると見えよう、前述したような全世界を挙げ

ての環境問題を含めた石炭の無公害化、焼燃性向上、価格低減化等、利用技術向上に対する努力は必ずや実を結び、遠い将来においてもエネルギー資源の中核を保持するものと思われる。

百万トン-C(CO₂換算)



第6図
温室効果ガスの排出量見通し(石炭技研, 1989b).

参考文献

相原安津夫 (1979): 「地球科学」14巻. 岩波書店, 135~138.
 相原安津夫 (1987): 石炭ものがたり. 青木書店 p.182.
 地質調査所編 (1960): 日本鉱産誌B V-a 「石炭」. 東京地学協会 p.775.
 藤井敬三・佐藤良昭 (1982): 地質学的にみた世界の石炭資源の概要 地学雑, 91, 1~10.
 堀江宏幸編 (1990): 石炭年鑑 1991. テックス レポート p.456 (及び1990, 1989年版)
 根井寿規 (1990): 地球規模環境問題の中の石炭政策と技術開発の動向 「創立30周年記念石炭技術研究発表会」. 石炭技術研究所, 1~34.
 日本能率協会編 (1981): 石炭利用技術シンポジウム, p.3-3-10.
 Perlack, R. D., and others (1986): Prospects for coal briquettes as a substitute for wood and charcoal in U. S. Agency for International Development assisted countries. Oak Ridge National Laboratory, p.291 + Appendix.
 世界エネルギー会議 (WEC, 1989) 資料.
 石炭技術研究所編 (1979): 石炭利用技術研究発表会講演集 (第1回) p.185.
 石炭技術研究所 (1987): 日本の石炭技術 p.71.
 石炭技術研究所編 (1989a): 石炭利用技術研究発表会講演集 (第11回) p.415.

石炭技術研究所編 (1989b): 石炭利用技術研究発表西部大会講演集 p.235.
 石炭技術研究所編 (1990a): 創立30周年記念 石炭技術研究発表会講演集 (利用第12回) p.304.
 石炭技術研究所編 (1990b): 石炭利用技術研究発表北海道大会講演集 p.223.
 石炭利用総合センター編 (1991a): 第1回石炭利用技術会議講演集 p347.
 石炭利用総合センター (1991b): 石炭利用技術の研究開発年報 (平成2年度) p.54.
 資源エネルギー庁 (1989): '90資源エネルギー年鑑. 通産資料調査会 p.937.
 資源エネルギー庁長官官房企画調査課編 (1991): 総合エネルギー統計. 通商産業研究社 p477.
 資源エネルギー庁石炭部編 (1991): コール・ノート. 資源産業新聞社 p.603.
 資源協会編 (1977): 石炭資源とその利用技術. 産業技術センター p.441.
 曾我部正敏・他 (1981): 世界の石炭資源. アイ・エス・ユー p.766.
 高城俊郎 (1991): 石炭クリーンハンドリング技術. 石炭利用技術情報, 平成3年9月号, 14~21.

INOUE Masaaki and SATO Yoshiaki (1992): Coal and its future prospects.

<受付: 1991年9月30日>