

2.3.1 石炭の起源・賦存状況・採掘方法

石炭の起源は、3億6千年前の古生代から中生代・新生代にかけて繁茂した植物です。石炭には炭化の進行程度によって、褐炭、亜瀝青炭、瀝青炭、無煙炭の4種類があり、発熱量や水分が異なります。採掘方法には露天掘りと、深く掘り下げる坑内掘りがあります。採炭後はクラッシャーで大きさを5センチ程度に粉砕し、選炭設備に送って混入している岩石を分離・除去します。

1. 石炭の起源と種類

石炭は3億6千年前から2百万年前までの、古生代・中生代・新生代にかけて形成されています。起源は湿地帯や海岸地帯に繁茂した植物で、枯死して水中に浸かった上に、新たに生育して枯死した植物が重なる現象が続いた結果です(図1)。水中に沈積した植物は、年月の経過とともに厚さが増し、微生物の作用で分解が進み、炭化して褐色の泥炭になります(泥炭化)。泥炭の層は地殻変動

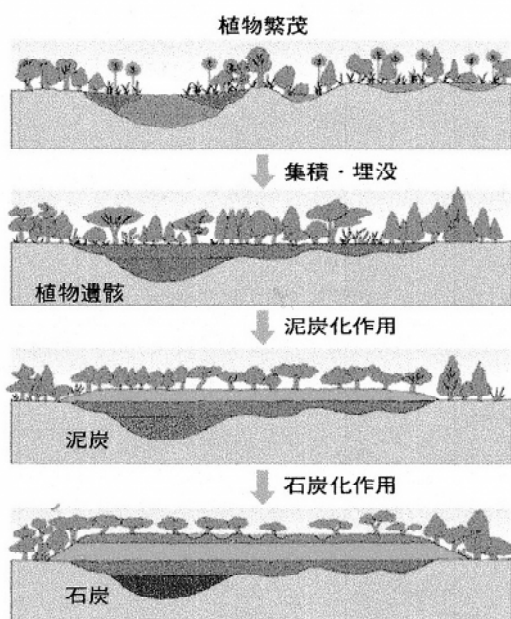


図1. 石炭の形成過程
(出典：石炭エネルギーセンター資料)

により、その上に泥や砂が堆積します。すると地圧と地熱が高まって脱水・脱炭酸・脱メタンが進行し、黒色の光沢を帯びた石炭になります(石炭化)。石炭化の進行による色調と名称の変化は、褐炭(褐色)→亜瀝青炭(黒色)→瀝青炭(黒色)→無煙炭(光沢のある黒色)の順序です。

2. 石炭の成分と発熱量.

石炭の主な成分は、炭素(C)、水素(H)、酸素(O)ですが、天然ガスや石油と比べると水素と酸素が少なく、炭素分が多いのが特徴です。また、一般的に天然ガスや石油より窒素(N)や硫黄(S)が多いだけでなく、燃焼に寄与しない灰分も多いので、燃焼には石炭の成分に応じた大気汚染防止対策が必要です。表1に褐炭、亜瀝青炭、瀝青炭、無煙炭の発熱量と水分を示します。褐炭は水分が多く発熱量が小さいので商品価値が低く、輸出入量は多くありません。しかし産炭地域では、発電用や生活用の燃料に広く使われています。無煙炭は鉄鉱石の焼結用、瀝青炭は発電用やセメント用に広く使用されています。

表1. 石炭の発熱量と水分含有量

	発熱量 (kcal/kg)	水分 (%)	炭化度
褐炭	2,500~4,000	30 ~60	低
亜瀝青炭	4,000~6,000	15~30	中
瀝青炭	4,500~7,000	15以下	高
無煙炭	4,000~8,000	10以下	高

出典：石炭エネルギーセンター資料

3. 石炭の埋蔵量と分布

石炭の埋蔵量は、2007年の統計資料によると約2.8兆トンです。しかし、この数字は理論的な埋蔵

量で、採掘が可能な可採埋蔵量は約三分の一の8,609億トンです(2010年の統計)。このうち瀝青炭と無煙炭が約半分の4048億トン、亜瀝青炭が約3割の2608億トン、褐炭が約2割の1953億トンです。可採年数は、現在の石炭消費量が年に67億トンなので、約130年になります。なお、天然ガスの可採年数が約60年、石油の可採年数が約40年と言われているので、石炭の可採年数は2倍以上です。しかし、可採年数は確認埋蔵量と現在の消費量から計算するので、新規の埋蔵量が確認されれば長くなり、消費量が増えれば短くなります。表2に可採埋蔵量の分布を示します。ロシア、ヨーロッパ、中国、オーストラリア、アメリカの埋蔵量が多いです。産炭国の石炭の種類を表2の右欄に記しましたが、ロシア、中国、インド、アフリカの石炭は、良質な瀝青炭や無煙炭の割合が多く、ヨーロッパ、オーストラリア、アジア、カナダの石炭は褐炭の割合が多いです。

4. 石炭の採掘(採炭)方法

石炭の採掘には露天掘りと坑内掘りの2種類があります。露天掘りでは、最初に炭層を覆っている表土を、巨大なドラグラインやトラックと、ブルトザーやパワーショベルで剥ぎ取ります。ドラグラインは大型の建設機械で、機体に長い鉄骨のブームを装着しています。ブームの先端にはワイヤロープでバケットを吊るし、手前へたぐりよせながら土砂や砂利などを掘削します。採炭用のドラグラインは、バケットの容量が50~100m³もあります。パワーショベルも掘削用の建設機械で、採炭用バケットの容量は5~10m³です。表土が剥ぎ取られた後は、同じ方法で採炭作業に移ります。露天掘りは坑内掘りに比べて大規模な採炭が可能で、安全性が高いのが特徴です。また、費用が安く軟弱地盤や多様な地質にも適応できるのが利点です。一方、広い面積の自然環境破壊をとるものと、採炭作業が天候によって影響を受け

表2. 石炭の可採埋蔵量

地域	埋蔵量		種類	%
	億トン	%		
ロシア	1570	18	瀝青・無煙	31
			亜瀝青炭	62
			褐炭	7
ヨーロッパ	1080	13	瀝青・無煙	20
			亜瀝青炭	6
			褐炭	64
中国	1145	13	瀝青・無煙	55
			亜瀝青炭	29
			褐炭	16
インド	606	7	瀝青・無煙	92
			褐炭	8
南アフリカ	302	3	瀝青・無煙	100
アフリカ (南ア外)	15		亜瀝青炭	89
			瀝青・無煙	11
インド ネシア	55		瀝青・無煙	40
			亜瀝青炭	42
			褐炭	18
オーストラ リア	764	9	瀝青・無煙	48
			亜瀝青炭	3
			褐炭	49
アジア	476	6	瀝青・無煙	53
			亜瀝青炭	2
			褐炭	45
カナダ	66	1	瀝青・無煙	53
			亜瀝青炭	13
			褐炭	34
アメリカ	2373	28	瀝青・無煙	45
			亜瀝青炭	42
			褐炭	13
コロンビア	67	1	瀝青・無煙	94
			亜瀝青炭	6
南米(コロン ビア以外)	58	1	瀝青・無煙	10
			亜瀝青炭	90

やすいのが欠点です。

坑内掘りには、ルームアンドピラー（柱房式）採炭法と、ロングウォール（長壁式）採炭法があります。ルームアンドピラー採炭法は、炭層内に坑道を格子状に掘りながら採炭し、格子の間に残された石炭は四角い柱状に残します。この採炭法の歴史は古く、採炭する石炭層の厚さや方向が変わっても適応しやすいのですが、残す石炭の量が多いので実収率が低い欠点があります。ロングウォール（長壁式）採炭法は、実収率を高めると同時に効率よく採炭するために開発された機械的な方法です。この方法では、ドラムカッターと称する回転切削機とベルトコンベアを使って、100～300mの幅で石炭を一気に採掘します。採掘後の坑道は、自走枠（支柱枠を連続的に設置する機械）で強度を保持します。坑内掘りは地中深く掘り下げるので、絶えず坑内に新鮮な空気を送り込み、発生する炭酸ガスや細かい粉塵を含んだ空気を排出する必要があります。坑道は一般的に長く伸びているので、多くの場所で通気の方法や粉塵を確認し、通気量を調整しています。坑内ではメタン濃度が5%を超えると、火気さえあれば爆発します。このため、1%以下に薄めて爆発を防ぐのも通気の重要な役割です。メタンガスの発生量が多く、通気しても1%以下にできなくなると、パイプラインを使うガス抜き作業が行われます。

露天掘りと坑内掘りの選択は、主に採掘コスト、石炭生産量、および剥土処理量で決まります。露天掘りの経済的な限界としては、剥土量（ m^3 ）を原炭（t）の量で割った剥土比が指標になります。通常、一般炭で剥土比が7～10、原料炭で12～15より少なければ露天掘り、上回る場合は坑内掘りが採用されます。なお、剥土コストには採炭後の環境修復（リクレーション）費用も含まれます。

5. 石炭の品質調整

採掘しただけの石炭は大きさが不統一で、岩石や燃料にならない鉱物が含まれています。このため、採炭後に大きさをそろえ、不純物を除去して石炭の品質を高める調整が行われます。調整の最初の工程は、クラッシャーによる石炭の破碎で、約5センチ程度以下に粉碎して選炭機に送ります。

選炭方法には比重選別法と浮遊選鉱法（浮選法）があります。比重選別法は、石炭の比重（約1.3～1.4）と岩石の比重（約2.2～2.5）の差を利用した選別で、ほとんどの炭鉱が採用しています。比重選別機には図2に示す水を利用したジグ選別機と、図3に示す重液サイクロンがあります。ジグ選別機は、石炭を入れた水槽の水面を上下に振動させ、比重の小さい石炭を上、比重の大きい岩石を下に移動させてスクリーン（網）で分離します。

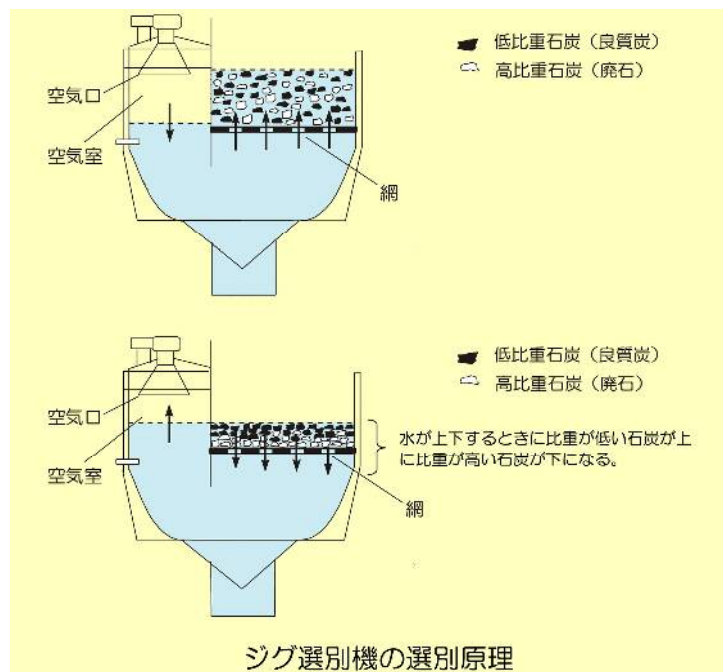


図2. ジグ選別機（出典：Wikipedia）

重液サイクロンでは、石炭を比重の大きい水（重液）とともに、遠心力が働くサイクロンに投入します。すると比重の大きい岩石が外側に移動して落下するので下部から抜き出し、比重の

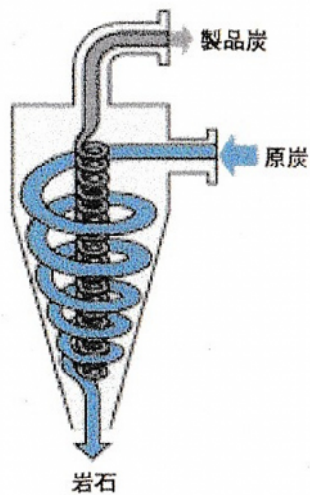


図 3. 重液サイクロン

小さい石炭は上部から抜き出します。重液は水に鉄鉱石の粉末を添加し、比重を大きくした水です。

浮遊選鉱法（浮選法）は、石炭と岩石の濡れ性の差を利用した選別法です。石炭は疎水性で水にぬれにくく油にぬれやすい特性があります。一方、ほとんどの岩石は親水性で、水ぬれやすく油にぬれにくい特性があります。そこで粉碎した石炭にパイン油などの油性物質を加え、図 4 のように水中で気泡を吹き込むと、気泡が付着した石炭が浮上するので分離します。気泡と共に浮上させるので、粒子径が

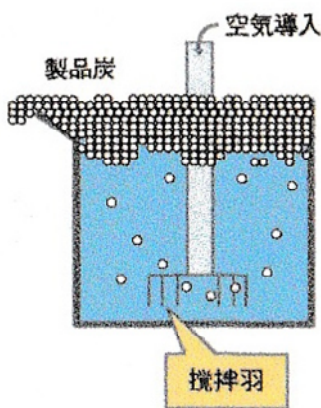


図 4. 浮遊選鉱法

0.5mm よりも小さい微粒子の選別にも適しています。浮遊選鉱法は銅の採掘でも広く採用されています。

6. 石炭の出荷から需要家まで

産炭地の炭鉱から出荷された石炭は、図 5 に示すように鉄道、バージ、トラックで内陸の需要家に、輸出向けには港湾の貯炭施設に搬入します。炭鉱から港湾の貯炭施設まで運ぶ鉄道には、オーストラリア、アメリカ、南アフリカなどではユニットトレインと呼ばれる専用車両が使われています。100 両を超える編成で、全長が 2km にも達することがあります。港湾の貯炭施設には、外航船に積み込むために、ベルトコンベアなどの出荷設備が設けられています。港湾からは小型なら 6 万トン以下、中型は 6 万トン～8 万トン、大型は 11 万トン～15 万トンのバラ積み船で需要国に運ばれます。需要国には大規模な発電所や製鉄所など特定の需要家と、不特定多数の需要家があります。このため、特定の需要家向けには需要側が保有する専用港に陸揚げし、不特定多数の需要家向けにはバルクターミナルに陸揚げします。バルクターミナル（コールセンターとも呼ばれる）からは、内航タンカーや鉄道、およびトラックで需要家に届けられます。炭鉱から需要家までの流通・輸送ルートはコールチェーンと呼ばれています。

（おわり）

参考：石炭エネルギーセンター資料

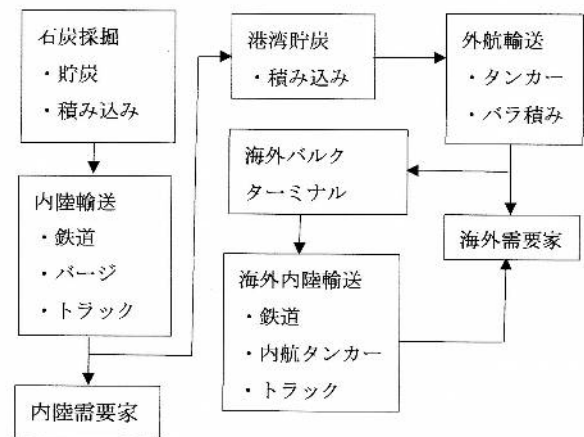


図 5. コールチェーン