

# 第1章

## 原料処理概論

### 1. はじめに

製鉄は原料の受け入れ作業から始まる。鉱石を船から受け入れてから原料ヤードでの貯鉱、使用時にヤードからの払い出し・配送、鉱石の破碎と篩い分けなどの作業を行うところの製鉄所最上流工程が原料処理である。そこで取り扱う鉄鉱石類の基礎知識、原料処理設備と作業について説明する。

### 2. 鉄 鉱 石

#### (1) 鉄鉱石の分類と呼称

鉄鉱石資源に乏しい日本は、鉱石の安定供給と鉱石の効率的経済的利用方法に創意工夫をしてきた。うまく使えない鉱石の使用価値を見出したり、鉱石のもてる特性を最大限に引き出すことが資源小国日本の国際競争力発揮の拠り所の一つとなっている。鉄含有鉱石は、鉄含有量の高低に関係なく、経済的に

表 1-1-1 鉄含有鉱物の種類と化学組成、性状一覧表

	化学式	化学式計算組成		結晶系	比重	硬さ	色	磁性
		Fe (%)	H <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub> (%)					
ヘマタイト (赤鉄鉱)	$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$	70.0		六方晶系	4.5~5.3	5.5~6.5	赤、赤褐、灰、黒	弱磁性
マーサイト (假赤鉄鉱)	$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$	70.0		六方晶系	4.5~5.3	5.5~6.5	赤、赤褐	弱磁性
マグヘマタイト (假赤鉄鉱)	$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$	70.0		等軸晶系	4.88	5.0	褐	強磁性
マグネタイト (磁鉄鉱)	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	72.4		等軸晶系	4.9~5.2	5.5~6.5	鉄黒	強磁性
絹鉄鉱 (リモナイト)	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ( $n=0.5\sim4$ )	66.3 ~48.3	(H <sub>2</sub> O) 5.6~31.0	非晶質	3.6~4.3	4.0~5.5	黄褐、赤褐、黒褐	弱磁性
ゲーサイト (斜鉄鉱)	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	62.9	10.1	斜方晶系	4.3	5.0~6.0		#
黄褐鉄鉱 (ザンシデライト)	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	57.1			3.6~4.0		黄	#
菱鉄鉱	$\text{FeCO}_3$	48.3	(CO <sub>2</sub> ) 37.9	六方晶系	3.7~3.9	2.5~4.0	淡黄、褐、灰白	弱磁性
黄鉄鉱 (パイライト)	$\text{FeS}_2$	46.6	(S) 53.4	等軸晶系	4.9~5.1	6.0~6.5	黄色金高光沢	弱磁性
磁黄鉄鉱	$\text{Fe}_{1-x}\text{S}$	63.4	(S) 36.4	六方晶系	4.6	3.5~4.5	古銅黄	強磁性

表 1-1-2 鉄鉱石の鉱物学的岩石学的特徴による分類と通称

通称	鉱物学的名称	特徴	例：銘柄 (鉱山、鉄種)	鉱種タイプ
緻密質ヘマタイト	ハードヘマタイト (硬質ヘマタイト)	緻密質で肉眼では結晶の認められないもの。	イソコール (シゼン)、パイラディラ (No.5 鉱床)、ハマスレー (トムブライス主方向節)	BIF
	①粗粒緻密質ヘマタイト	緻密質で肉眼では結晶の認められないもの。①ほど緻密でない。	イソコール (シゼン)、パイラディラ (No.5 鉱床)、ハマスレー (トムブライス主方向節)	BIF
	②微高品質ヘマタイト	ルーペで顕微鏡観察が認められる程度のもの。①ほど緻密でない。	ゴールズワージー (A 鉄種)	BIF
	③高品質 (スベコブライト；結晶質ヘマタイト)	葉片状、大きな片状、又はキラキラ状結晶質ヘマタイト。単一結晶は粗粒型だが互いの結晶間の結びつきはゆるい。	リオドセ (イタピラ)、MBR (アグスタララス)、MBR (モロブグド)	BIF
ソフトヘマタイト	ソフトヘマタイト (軟質ヘマタイト)	微細気孔があり高品質だが軟質で砕けやすい。鉱末でも詳細では砕けている。	カラジャス (N4E 鉄種)	BIF
ブルグスト	微粉状高品質ヘマタイト	微粉の多い高品質ヘマタイトで赤みがかった結晶質ヘマタイトの色を呈するのでこの名がある。	リオドセ (コンセイソンの一部)、パイラディラ (No.14 鉱床の一部)、ゴア・ペワリー・ホスペット (各鉄種)	BIF
ブラックファイン	微粉状高品質ヘマタイト	ブルグストより微細気孔に富み、やや黒みがかかっているためこの名がある。	CVG (サンシンドロ)	BIF
ヘマタイト (マーサイト) - 塊鉄	塊鉄質ヘマタイト	西豪州ハマスレー地区一帯にマグネタイトで埋積し陸化して假赤鉄鉱 (マーサイト) となり、さらに塊鉄、ヘマタイトとなったものの総称。鉱物は3種の混合で、加水の度合いにより塊鉄含有率が高くなる。	ハマスレー (トムブライスの枝節)、ハマスレー (パラバドゥー)、マウントニューマン (ホコールバックの一部) 塊鉄結晶の多い例：ハマスレー (マウンドウー)、マウントニューマン (No.29 鉱床)	BIF
マブマンバ	結晶質ヘマタイトと塊鉄質の多いもの	西豪州先カンブリア紀ハマスレー層群のマブマンバ層に賦存する鉄鉱石の通称で鉱物名ではない。ブロックマン層由来のものに比べて塊鉄の多いソフト質のものが多い。塊鉄結晶由来の塊鉄結晶は黄色を呈する。	ハマスレー (マラウンドウー)、マウントニューマン (No.29 鉄種)	BIF
イクピライト	粒状ヘマタイト産層 (B.H.Q.; Banded Hematite Quartzite)	地質により名称が異なるが全てヘマタイトと珪石との互層で構成をなす。北米：セミタコナイト、ブラジル：イクピライト、豪州：BHQ、アフリカ：ゼブリア等。ブラジル鉄四角地帯のイクピライトは石英部とヘマタイト (塊鉄) 部が粉状にバラバラになっているもの (ソフトイクピライト) と塊状のまま深い層状を呈するもの (ハードヘマタイト) とあり前者は通常は塊鉄となる。	リオドセ (イクピラのコンセイソン、カウコ)	BIF
マグネタイト - ヘマタイト (假赤または赤磁鉄石)	①マグネタイト - 塊鉄 ②マグネタイト - ヘマタイト	共に結晶質のマグネタイトと塊鉄との混合組織。 マグネタイトとその酸化された副産物質のヘマタイト混合組織。	CIO (キャロルレイク)	BIF
ピソライト	塊状斜鉄	ヘマタイトを主体とした有層を核として、その周囲に斜鉄の結晶が放射状に成長したもの。この核層の周囲部には高カオリン質塊鉄が埋めているものがある。	クドレムク (クドレムク)、ゾドウ	BIF
両性マグネタイト 結晶	マグネタイト (両鉄)	両鉄結晶は粗粒品位の高いものが多いので粉砕時微粉量などの高品質を呈している。したがって原石を単体分離させるため微粉砕されているものが多い。	CMP (ロスマル、ラコロラ)、SHP (マルコナ)、LKAB (キルナ)	火成岩系 結晶
砂鉄	マグネタイトの一部チタン鉄鉱 (イルメナイト) が混入	濃密風選を厳選したもので砂状。イルメナイトはマグネタイト結晶中に格子状に混入。	BHP ニューゼーランド (タハロア)	濃砂鉄床
ペレットファイード (PF)	-	鉱物学的分類ではなく、鉄石処理の仕方によって別したペレット用微粉鉄石の総称。	日本に購入されている PF：MBR、リオドセ、サマルコ、クドレムク、ロスマル	

安定して供給、利用できてはじめて鉄鉱石となる。たとえ鉄品位が高くても経済的に採掘・輸送できないものとか、有害元素を含むものなどは鉄鉱石と扱われず、逆に鉄品位が低くても経済的に利用可能なものは鉄鉱石となる。したがって、鉄鉱石とは、単体あるいは複数種の酸化鉄を含有する鉱物の集合体で、経済的に採掘・利用可能なものを言う。

※1-1 (ガイドブック参照番号)  
鉄含有鉱物の種類と化学組成およびその性状を表1-1-1に示す。このうち、現在実際に使用されている鉄鉱石の構成鉱物は、酸化物系鉱物であるヘマタイト (hematite,  $Fe_2O_3$ )、マグネタイト (magnetite,  $Fe_3O_4=FeO \cdot Fe_2O_3$ ) と結晶水を含有する酸化物系鉱物である褐鉄鉱物とである。褐鉄鉱物の主体はゲーサイト (goethite,  $Fe_2O_3 \cdot H_2O$ ) であるが、結晶水含有量の異なる鉱物が複数種ある。歴史的には、かつては硫化鉄や菱鉄鉱なども鉄石として使われたことがある。

鉄石性状は、鉄品位や脈石成分、有害元素などの化学組成に大きく左右されるが、それら化学成分の化合形態である鉱物の種類や鉱物組織 (結晶サイズ、結晶形や鉱物の組み合わせなど) によって大きく左右される。

鉄鉱石は、鉄石中の主要鉱物を総称して、ヘマタイト鉄石、マグネタイト鉄石、褐鉄鉱石と便宜的に分類されることが多い。さらに、結晶のサイズや鉱物組織によっても鉄石性状が大きく異なるので、鉄石特性の特徴を表す目的でさらに細分類した呼び方で通称される鉄石名がある (表1-1-2)。

一方、鉄鉱石は使用される時は、粒径別に利用方法が異なる (後出図1-4-1参照)。通常、6.3mm以上の塊鉄石は直接高炉に使用され、10mm以下の粉鉄石は焼結鉄あるいはペレットのような塊成鉄にして後高炉に使用される。焼結鉄用粉鉄石はシンター・フィードと呼び、粉鉄石の内150 $\mu$ m以下の微粉鉄石は焼結に使い難く、主としてペレット原料に使われるのでペレット・フィード (PF) と呼ぶ。

(2) 世界の鉄鉱石埋蔵量、生産量と貿易量

※1-2  
世界の鉄鉱石埋蔵量は年々変化してきているが、比較的新しい統計では、鉄鉱石量は3,500億t (鉄換算量1,600億t) ある (図1-1-1)。

そして世界の国別の鉄鉱石生産能力、輸出能力を図1-1-2に示す。これら原料を基に、世界の銑鉄、粗鋼、鉄鉱石生産量の推移を図1-1-3に示す。そして図1-1-4には鉄鉱石の世界貿易量を示す。世界鉄鉱石の生産量は年

間21億tで、上位5ヶ国で約8割を占めている。そのうちの流通量は、年間約15~16億tで、「豪州→アジア」と「ブラジル→欧州、アジア」が2大流通フローとなっている (図1-1-4)。近年は中国の輸入量が急増している。

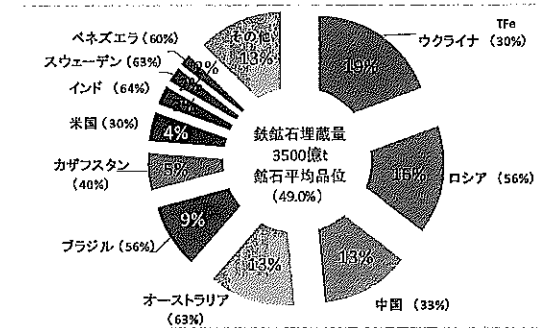


図1-1-1 世界の鉄鉱石埋蔵量と鉄品位  
(出典: United States Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, 2009)

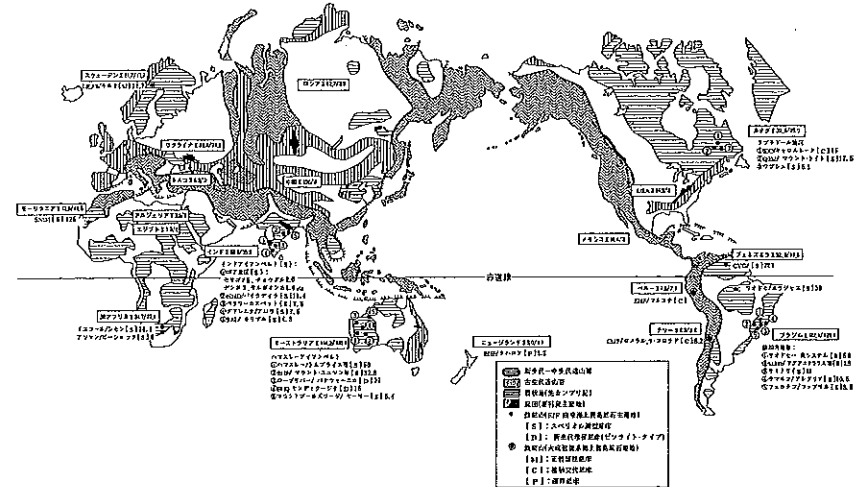


図1-1-2 世界の鉄鉱石生産能力・貿易能力分布 (国別、地質別、1995年IISI集計)  
(注)  $\Sigma$ : 各国の鉄鉱石年間生産能力/鉄鉱石年間輸出能力, 各鉱山会社数字: 年間輸出能力

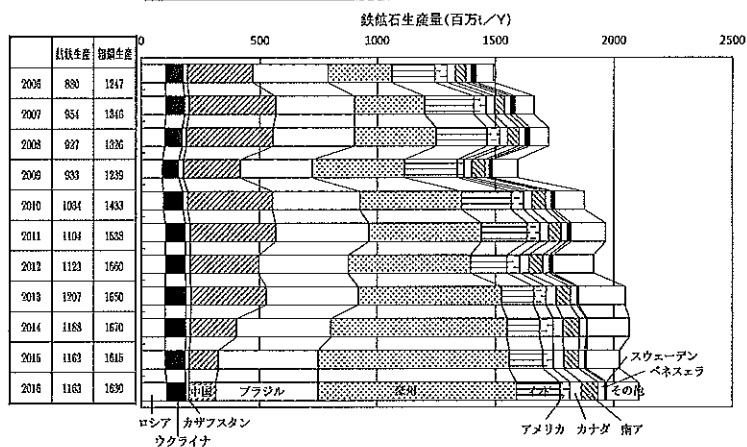
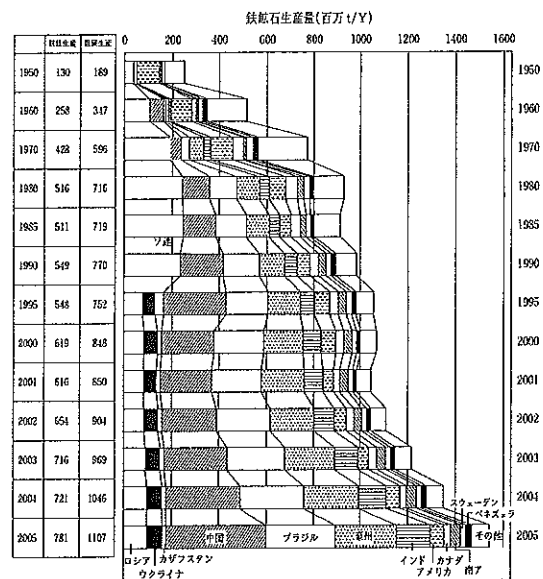


図1-1-3 世界の鉄鉱・粗鋼・鉄鉱石生産量推移

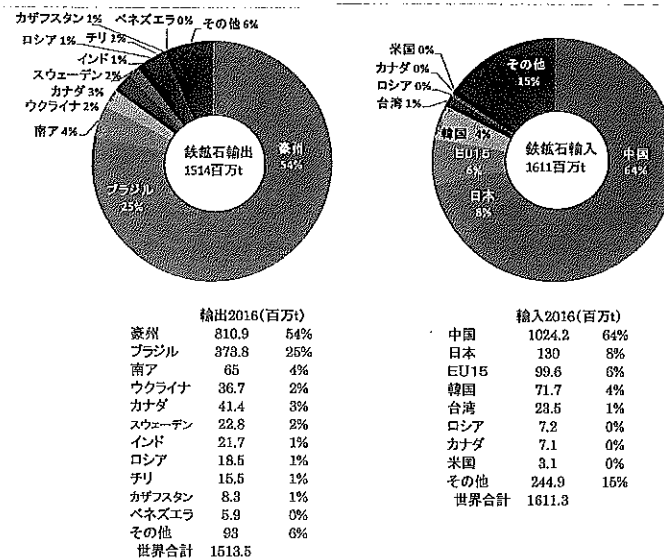


図1-1-4 鉄鉱石世界貿易量 (2016年)

(3) 鉄鉱床の種類と鉄石産出状態

鉄鉱石は世界に非常に広く普遍的に分布しているものの、その産状は地域により大きく異なる。鉄鉱床のタイプを大分類すると、堆積鉄床、火成鉄床、漂砂鉄床に分かれ、この鉄床のタイプにより鉄鉱石鉱種とその産状（鉄鉱石の品位・特性及び産出規模）が著しく異なる。そしてその鉄床のタイプは鉄床生成域の地質の差に由来する。

鉄鉱床のタイプの中では堆積鉄床が圧倒的に多く存在する。その理由は鉄元素が水の惑星「地球」の表層では堆積鉄床を形成し易い特性をもっているためと考えられている。すなわち、鉄は水への溶解が温度、PH、Eh等に左右され、2価の鉄は水への溶解度が高く、逆に3価の鉄の溶解度は非常に低いという性質があり、2価の鉄として容易に水へ溶解・流水拡散し、酸化環境個所に到達するとその溶解鉄が集中的に三価の鉄で構成されている褐鉄鉱として沈積する特性がある。従って、地球誕生以来、環境変化に応じ海底や河川、沼湖に大小さまざまにこのタイプの鉄床が実に多く生成している。