

(解説)

# グレートキルン ペレタイジングプロセス

## Grate Kiln Pelletizing Process



山口晋一\*  
Shinichi YAMAGUCHI



藤井武志\*  
Takeshi FUJII



山本範人\*  
Norihito YAMAMOTO



野村 勉\*\*  
Tsutomu NOMURA

Kobe Steel has a history of pelletizing plants since we constructed the plant in Kobe Works in 1966. In this document, our history of plant construction, the outline of its process and the latest features of our activities in the construction of overseas plants are introduced. The plant owners in the countries, where new plants are constructed, had been interested mainly in the quality of produced pellets, plant equipment, and the cost of plants in the past. However, recently environmental aspects from plant operations have been raised as an important issue, also. Kobe Steel will contribute to further improvement and development of pelletizing plants to meet all these requirements, reflecting our rich experience of design, construction and operation.

まえがき＝当社はグレートキルン ペレタイジングプロセスを採用したペレットプラントを1966年に神戸製鉄所内に建設して以来、多くの同プロセスのペレットプラントの建設、運転を行ってきた。本稿ではペレットプラントの開発の経緯や各種プロセスの特徴を紹介するとともに、グレートキルン ペレタイジングプロセスの優位性、ならびに当社の各プロジェクトの最新状況を報告したい。

製鉄の方法として現在主流を占めているのは高炉による大規模製鉄と電気炉による中小規模製鉄である。高炉に装入される製鉄原料は塊鉄石、焼結鉄石、ペレットであり、電気炉に装入される製鉄原料は鉄スクラップ、還元鉄ペレット、還元鉄ペレットから製造されるブリケットなどである。焼結鉄石は1～3mm程度の粗粉鉄石を原料とし、燃料となる粉コークスの燃焼熱によって粉鉄石を部分的に熔融して結合させて15～30mmの鉄鋼原料にしたものである。一方、ペレットとは、焼結鉄石よりさらに微粉の鉄石を直径12mm程度の大きさの球状に造粒して焼成したものであり、高炉用の原料のみならず、天然ガスを産出する国で広まっているガスベース還元鉄製造プロセスの原料にも使用されている。

ペレットの歴史は、スウェーデンのA.G.アンダーセンが1912年にその製法を発明したことから始まる。しかし、ペレットが本格的に取上げられたのは第二次大戦後のアメリカである。五大湖周辺に莫大な量が埋蔵される低品位のタコナイト鉄石を活用する研究が行われ、1943年にミネソタ大学鉄石研究所のディヴィス教授によってその処理方法が確立された。すなわち、タコナイト鉄石を微粉碎して不純物を取除き、鉄品位を向上させる（この処理が選鉄プロセスである）のであるが、その結果得

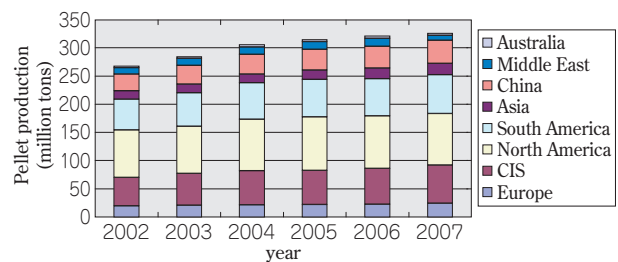


図1 ペレットの地域別生産実績  
Fig. 1 Production of pellet in world

られた高品位の精鉄は微粉(0.1mm以下)のために焼結には使用できず、ペレット化することによって利用を図ることになったのである。

高品位塊鉄石資源が世界的に減少するなか、選鉄プロセスで低品位鉄の品位を向上させてペレットとして利用すること、さらに高炉および直接還元炉でのペレット使用の増加により、ペレットプラントの役割は将来的に重要な役割を担っていくと考える。

図1に全世界のペレットの総生産量の実績とその地域別生産量を示す<sup>1)</sup>。

### 1. ペレットプラントの設備

ペレットプラントは一般に、次のような4つの工程で構成されている。

- 1) 原料受入工程
- 2) 原料前処理工程
- 3) 造粒工程
- 4) 焼成工程

本章ではこれらの工程の概要を述べる。

#### 1.1 原料受入工程

ペレットプラントの建設場所により、原料である鉄石

\*資源・エンジニアリング事業部門 新鉄源本部 プロジェクト部 \*\*資源・エンジニアリング事業部門 新鉄源本部 技術部

石や添加物、バインダなどの受入方法が異なってくる。元来、選鉱プロセスを経た精鉱を処理するプロセスとして発展したペレットプラントは、鉱山に近接した場所に建設されることが多く、その場合の原料受入は鉄道やスラリーパイプラインにて行われる。一方、鉱山とは関係なくペレットプラントが単独で建設される場合には、鉄鉱石は経済面から大量輸送する必要があり、鉱石運搬専用船による輸送と岸壁での荷揚げ、鉱石ヤードへの積付けが行われる。

### 1.2 原料前処理工程

ペレタイジング用原料として供給された鉄鉱石を後続の造粒工程で要求される性状の微粉原料に処理する工程で、選鉱、脱水、粉碎、乾燥、調湿などの工程がこの範囲に含まれる。

一般に低品位鉱は微粉碎され、鉄品位の向上、硫黄、りん、その他の不純物の除去、粒度調整が行われる。磁鉄鉱の鉄品位向上および不純物の除去には磁力選鉱が行われるが、赤鉄鉱に対しては比重選鉱や浮遊選鉱、あるいは湿式高磁力選鉱が行われている。図2に磁鉄鉱の選鉱に代表的に用いられる磁力選鉱機のスケッチを示す<sup>2)</sup>。

粉碎工程はその方式を大別すると

- 1) 湿式粉碎 — 乾式粉碎
- 2) 開回路粉碎 — 閉回路粉碎
- 3) 一段粉碎 — 多段粉碎

があり、各方式は鉱石の種類や性状、配合割合の変化などに応じて経済性を考慮しながら互いに組み合わせられて適用される。湿式粉碎(図3)を採用する場合にはシックナやフィルタなどから構成される脱水設備が併設され、乾式粉碎(図4)を採用する場合には調湿設備が必要となる。乾燥工程は乾式粉碎との合成工程として準備される場合が多い。調湿工程では、乾式粉碎した原料に適度の水分を均一に添加・混合し、造粒工程に適した湿潤微粉を準備する。ペレットの品質に影響を与える微粉原料の特性を調整する工程である。良質な生ペレットを製造するため、鉄鉱石のバインダとして一般的にベントナイトや有機バインダを、また、目標とする化学組成を有する

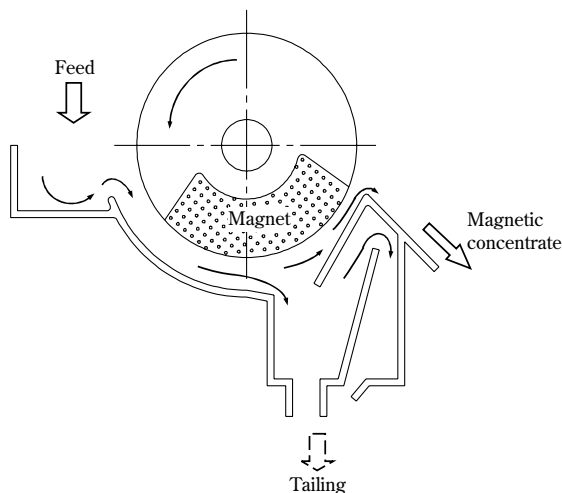


図2 磁力選鉱機  
Fig. 2 Magnetic separator

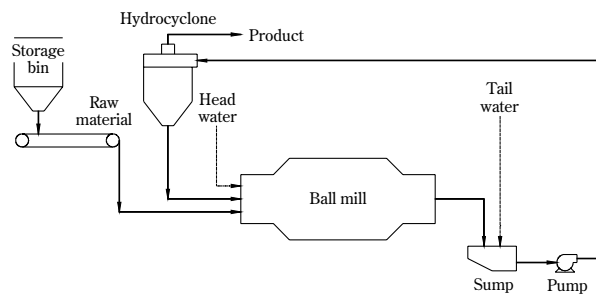


図3 湿式閉回路粉碎システム  
Fig. 3 Flow of closed circuit wet-grinding system

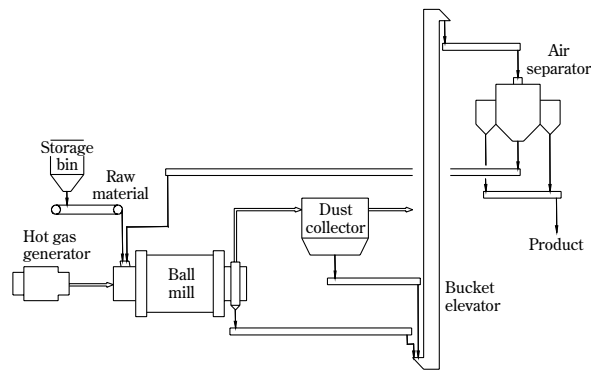


図4 乾式閉回路粉碎システム  
Fig. 4 Flow of closed circuit dry-grinding system

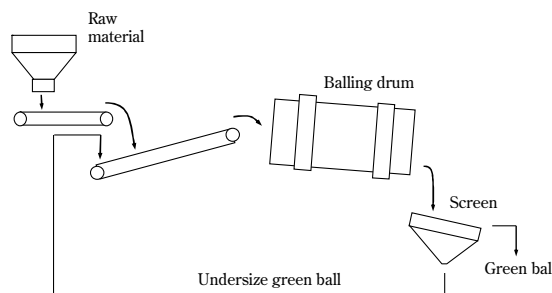


図5 ドラム型造粒システム  
Fig. 5 Flow of balling drum

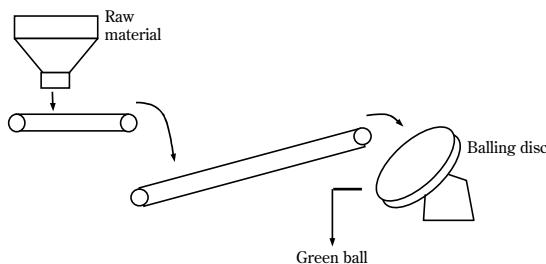


図6 パン型造粒システム  
Fig. 6 Flow of balling disc

製品ペレットとすることを目的に石灰石やドロマイトを添加し、原料の化学組成を調整する工程でもある<sup>3)</sup>。

### 1.3 造粒工程

造粒工程は、原料前処理工程で処理された湿潤微粉原料を造粒機によって生ペレットに成形する工程である。生ペレットは、ドラム型(図5)あるいはパン(ディスク)型(図6)のいずれかの造粒機によって製造されている。どちらも遠心力を利用して原料を回転させながら造粒する。ドラム型は、ドラムから排出されるペレットの粒径が不均一で、かなりの部分(ドラム排出量の約70%)が所定粒径以下となることから、ふるい分けの後

に返鉱としてドラムに戻さなければならない。原料条件の変更による造粒操作の調整は難しいが、原料の化学組成や粒度、水分が一定の条件での運転は安定している。パン型は、遠心力を利用して生ペレットをパン自体で分級するため返鉱の量は少ない。原料条件の変更による造粒操作の調節は、パンの回転数、傾斜角度、あるいは深さを変更することによって容易に対応することができる。

#### 1.4 焼成工程

ペレットの焼成は、粉鉱の微粒子を酸化して1,250～1,350℃の温度でヘマタイト粒子の結合を完成させることにある。このとき、原料中に塩基性の脈石が混在していた場合や石灰石を配合した場合にはペレット中に低融点のスラグが発生するため、ヘマタイト結合とスラグ結合の中間組織となることもある。しかし、粉鉱石に燃料となる粉コークスを混ぜ、コークスの燃焼熱によって粉鉱石を部分的に熔融、塊成化する焼結法に比べると焼成温度が低いことが特長である。

ペレット焼成には、シャフト炉方式、ストレートグレート方式、およびグレートキルン方式の3方式の設備が用いられている。シャフト炉方式は最も古くから使用されたものであり、設備の規模は小さく、操業されているプラントは現在ではほとんどない。ストレートグレート方式はシャフト炉方式よりも若干遅れて工業化された。移動型静止層式という単一の機器でペレットの乾燥、予熱、焼成、冷却を行うため機器構成が簡単で、操業も比

較的容易であり、製造設備規模も大きなものが可能であることから現在も多くのプラントで採用されている。グレートキルン方式は、グレート、キルン、クーラの主要設備より構成され、ペレット焼成工程の乾燥・予熱、焼成、冷却の各処理をそれぞれの機器が受持つように設計されている。そのためプロセスの制御が容易であり、また製造されるペレットも均一な品質のものが得られる。さらに、製造設備規模も大きなものが可能であることから、ストレートグレート方式と並んで多くのプラントで採用されている。

表1にグレートキルン方式とストレートグレート方式の主な指標における比較を示す。

## 2. 当社におけるペレットプラント

当社製鉄所における原料の事前処理の最適化、すなわち微粉原料の性状に応じて焼結工場とペレット工場それぞれ別々に原料を処理することによって事前処理の範囲を拡大させるとともに、微粉原料の有効利用を可能にし、さらにペレット使用による高炉の生産性向上を図るため、神戸製鉄所にペレットプラントを1966年9月に建設した。

当社のペレット原料には褐鉄鉱を含む多種類の赤鉄鉱微粉が多いため、このプラントではそのような原料に適した方法として乾式粉碎—予湿方式を採用した。また焼成工程には高温かつ均一焼成が可能なものとしてAllis-Chalmers社のグレートキルン方式を取入れた。プラン

表1 グレートキルン方式とストレートグレート方式の比較  
Table 1 Comparison of Grate-Kiln-Cooler process and Straight-Grate process

No.	Items	Grate-Kiln-Cooler	Straight-Grate	Comments
1	Pellet quality			Grate-Kiln-Cooler process enables all pellets to be uniformly and adequately heat-hardened by tumbling action and be held at the peak temperature for longer period than in Straight-Grate.
	a) Uniformity	○	△	
	b) Cold compression strength	○	△	
	c) Tumble index	○	△	Iron grade and impurity contents are basically influenced by ore beneficiation processes, but not by the pelletizing process.
	d) Chemical composition	○	○	
	e) Reducibility	○	○	
	f) Clustering tendency during reduction	○	○	
g) Disintegrating tendency during reduction	○	△	The pellets uniformly and adequately heat-hardened in Grate-Kiln-Cooler process have lower disintegrating tendency.	
2	Fuel consumption	○	△	Grate-Kiln-Cooler process attains lower fuel consumption, due to the followings ; a) No hearth layer and side layer b) Efficient heat transfer mechanism in grate, kiln and cooler to meet each specific requirement
3	Power consumption	○	△	No requirement of hearth layer and low height of pellet bed on the grate of Grate-Kiln-Cooler process lower the pressure drop across the pellet bed, which reduces the power consumption of process fans.
4	Maintenance cost	○	△	Straight-Grate process needs more spare parts of grate bars which suffer from considerable cyclic thermal stresses through drying, preheating, firing and cooling.
5	Process versatility	○	△	Grate-Kiln-Cooler process allows independent operation adjustment of grate, kiln and cooler, which enables the operators ; a) to, easily and without any risk, decrease and increase the rate of pellet production. b) to overcome radical changes in the characteristics of iron ore materials fed to the pelletizing plant, and to utilize various kinds of additives ; bentonite, hydrated lime and/or limestone. c) produce pellets of differing metallurgical characteristics. The single burner applied for Grate-Kiln-Cooler process simplifies the process control. When required, the burner has ability to simultaneously fire two fuels, gas and oil, and switch on-stream from one fuel to another.
6	Plant availability	○	○	No specific difference on plant availability



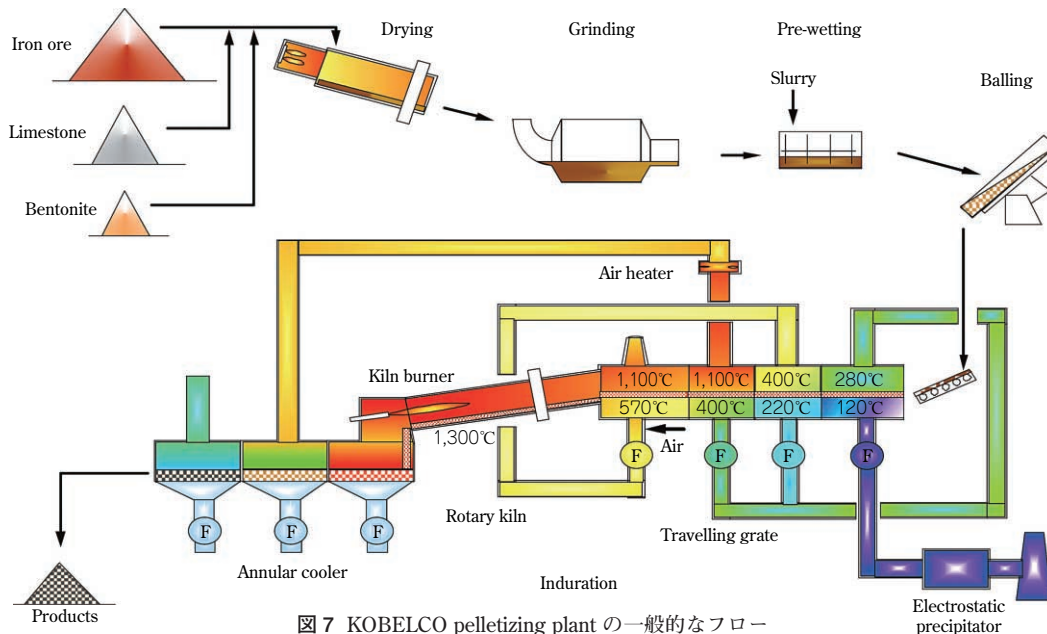


図7 KOBELCO pelletizing plantの一般的なフロー  
Fig. 7 Typical flow of KOBELCO pelletizing plant

の能力は年産100万トンであった。

その後、加古川製鉄所にも1970年に1号ペレット工場、1973年に2号ペレット工場をそれぞれ建設し、その能力はいずれも年産200万トンであった。現在稼働している当社のペレットプラントは加古川製鉄所の1号ペレット工場のみであるが、この工場は増産や省力化、省エネルギーを目的とした改造を重ね、現在では年産約400万トンのプラントとなっている。

ペレットプラントを操業し、製造したペレットを自社の高炉に使用するという当社ならではのメリットを生かし、自溶性ペレットの実用化やドロマイトペレットの開発などを通じて日本の大型高炉におけるペレットの活用をリードしてきた。

当社が建設、納入したペレットプラントの代表的なプロセスフローを図7に示す。

### 3. ペレット焼成設備の特徴

前章で述べたように、当社はグレートキルン方式を採用したペレットプラントを神戸製鉄所および加古川製鉄所に建設した。その後独自の改良を重ね、KOBELCOペレタイジングシステムとして国内のみならず海外にも多数のペレットプラントを建設、納入したが、そのすべての焼成工程にグレートキルン方式を採用している。

本章では、3種類ある焼成工程をそれぞれ少し詳しく説明する<sup>4)</sup>。

#### 3.1 シャフト炉方式

シャフト炉方式(図8)は最も古くから使用されているもので、焼成に必要な熱量は炉外に設置された燃焼室において発生させ、熱ガスを炉体に導入する。炉体上部から装入される生ペレットは、降下中に熱ガスと接触して熱交換を行い加熱される。加熱されたペレットは冷却帯を経て炉外に排出される。装入されたペレットと熱ガスとの接触が十分に行われるのがシャフト炉の特徴であり、熱効率が高い。しかしながらその一方で、炉内の温度分布を均一にすることが難しく、局部的にペレットが

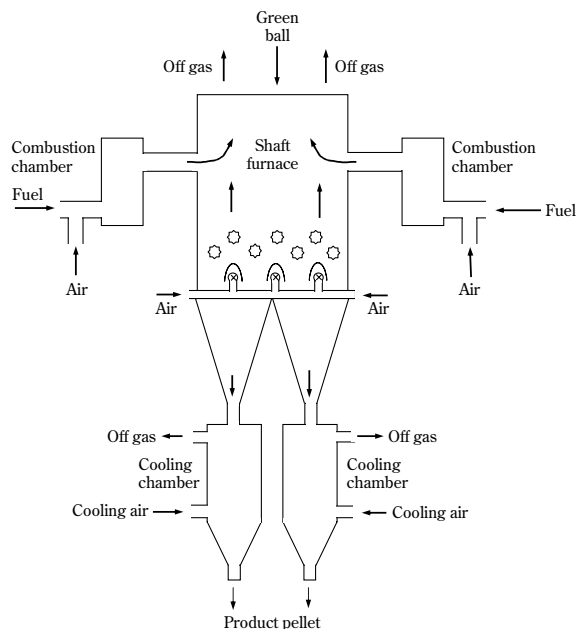


図8 シャフト炉方式

Fig. 8 Flow of shaft furnace system

加熱されてペレット同士が融着、あるいは炉壁に付着して操業が困難な状況になる可能性があるという欠点がある。また、ペレットの生産コストを低減するためには設備ごとの生産量を高くする必要があるが、最大級のシャフト炉でも約45万トン/年であった。この技術は古く、しかも大規模な設備とすることが困難なことから、現在では操業されているプラントはほとんどない。

#### 3.2 ストレートグレート方式

ストレートグレート方式(図9)はシャフト炉方式よりも若干遅れて工業化されており、グレートと呼ばれる移動型格子に生ペレットを装入し、乾燥、予熱、焼成、冷却の各工程を順次通過させて焼成する方式である。シャフト炉方式と比較してこの方式が優れている点は、ペレットの乾燥、予熱、焼成、冷却の各工程での温度制御が比較的幅広くできることである。しかし、グレートの速度を変えると各工程の条件が一斉に変わるという弱点も

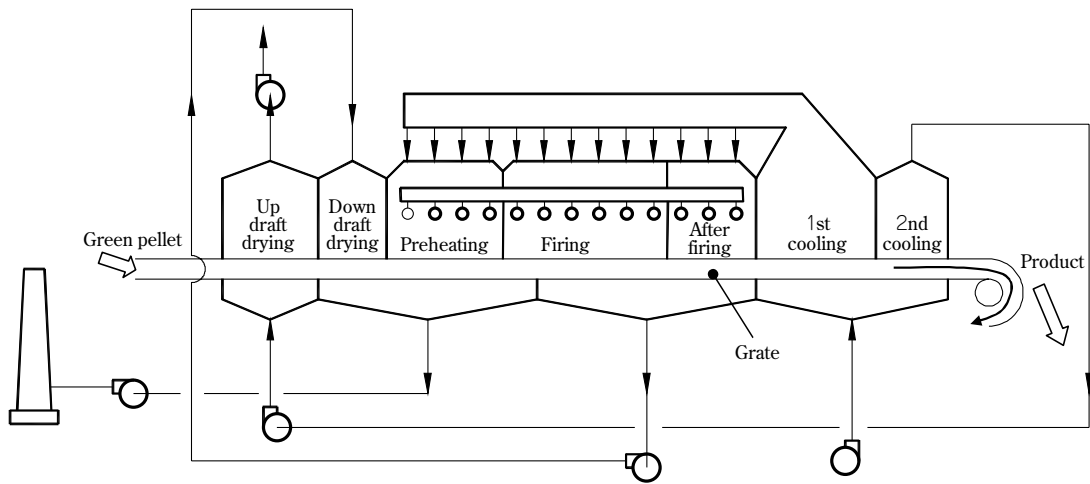


図9 ストレートグレート方式  
Fig. 9 Flow of straight-grate system

併せもっている。

生ペレットは、パレットに側板がついたエンドレスのグレート上へ約300mmの均一な層厚となるように装入される。その際、焼成帯において高温にさらされるグレートおよびパレット側板の保護、およびそれらに接するペレットのむら焼けを防ぐことを目的として、床敷き(約100mm)としてグレート上へ、またサイドレーヤとしてパレットの両側部へ焼成ペレットが装入される(図10)。グレート上の生ペレットは、あらかじめ設定された温度に保持された炉内を乾燥、予熱、焼成、冷却の各ゾーンの順序で通過し、それぞれの過程で空気や燃焼ガスとの間で熱交換を行って製品ペレットとなる。

移動型静止層式という単一の機器でのペレット製造ということによりその操作は比較的容易である。しかし、グレートなどの機械部分の保護およびペレットの品質変動を防ぐために床面および側面に製品の一部を循環充填して使用してはいるものの、高温の焼成工程を通過する

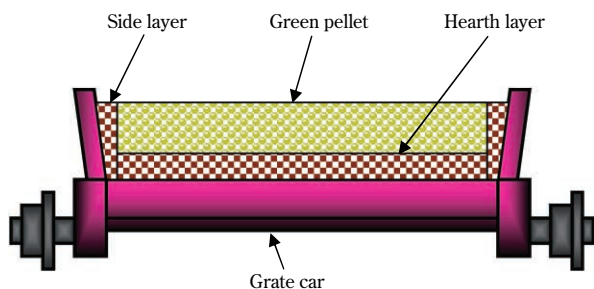


図10 ストレートグレート方式の断面図  
Fig.10 Cross sectional sketch of straight grate

ことからパレットが損耗しやすい。またこの方式では、前述のようにペレット層厚が300mm程度と厚いことから上下部層間に温度差が生じ、製品ペレットの品質にばらつきが生ずる原因となっている。

### 3.3 グレートキルン方式

グレートキルン方式(図11)は、グレート(移動格子型予熱機)、キルン(回転型焼成炉)、クーラ(環状回転格子型冷却機)の3主要設備より構成される。生ペレットはグレート上に均一な厚さに層積みされ、順次乾燥、離水、予熱の各工程を通過し、次のキルン内での回転加熱に耐え得る強度まで予熱硬化されてキルンに送られる。キルン内で高温焼成されたペレットは次のクーラで冷却されて製品ペレットとなる。

グレート、キルン、およびクーラそれぞれの基本設計概念は、常温から1,300℃以上におよぶ広い熱伝達工程を機械的に無理のないように効率よくそれぞれに分担させることである。

グレートは、隔壁によって乾燥室、離水室、および予熱室に分割され、生ペレットの乾燥と予熱までの比較的低温での熱交換を受持ち、効率の高い強制対流加熱方式を採用している。ペレットの乾燥、離水、予熱の熱源となるガスはキルンからの排ガスのみならず、クーラからの排熱をも利用しており、プラント全体での熱効率の高いプロセスとなるように設計されている。

キルンは比較的短いものが使用されており、入口側はグレートに、出口側はクーラに接続している。グレートから排出された予熱ペレットを高温で焼成するため、耐

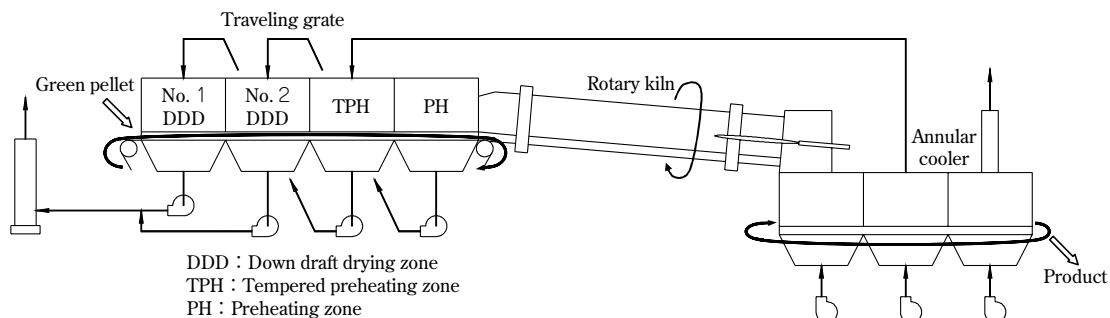


図11 グレートキルン方式  
Fig.11 Flow of grate-kiln-cooler system

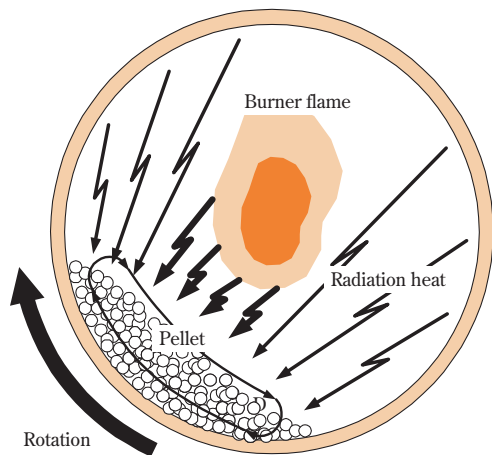


図12 キルンの断面概念図

Fig.12 Cross sectional sketch of rotary kiln

火断熱材でライニングされており、ペレットの焼成は高温で高効率、かつ均一加熱ができる輻射加熱方式を採用している。キルンは出口側を入口側より少し下げて設置され、低速で回転する。キルン内部のペレットは転動しながら加熱され(図12)、所定の温度で焼成された後クーラに送出される。この転動を受けることによってキルン内のすべてのペレットは均一に加熱され、高品質のペレットが安定して製造されることになる。

ドーナツ型の水平回転式クーラに装入された焼成ペレットは、大気吹込みによる強制対流冷却方式によって後続の搬送に支障のない温度にまで冷却される。このときに回収される熱ガスの一部はキルンにおける燃料燃焼の二次空気、およびグレートにおけるペレットの乾燥、予熱のためのプロセスガスとして利用し、熱効率の高いプロセスとなるように設計されている。

グレートキルン方式の特長としてつぎのような点が挙げられる。

- 1) ペレットはキルンによる焼成工程において転動作用を受けるため、均一な製品が得られる。
- 2) 予熱、焼成、冷却の各工程は関連づけて制御できるのみならず、必要に応じておのおの独立して制御することも可能である。したがって、熱ガスおよびペレットのヒートパターンは各工程で最適条件となるように制御することができ、原料および生産量の変動に対して最適に対応することが可能である。
- 3) 温度制御が容易であるため、適正な焼成温度帯が狭い自溶性ペレットに対しても均質な製品を製造することが可能である。
- 4) 低燃費、低電力消費である。
- 5) グレート、キルン、およびクーラはそれぞれの熱負荷に対応して設計、製作されるため、耐火物およびグレートプレートなどの取替え頻度が少なく、したがってプラントの稼働率が高い。

#### 4. 製品性状の特徴

製品ペレットの品質は、ペレットの製造プロセスの違いによってその差が現れている。

ストレートグレート方式では、ペレットは移動型静止

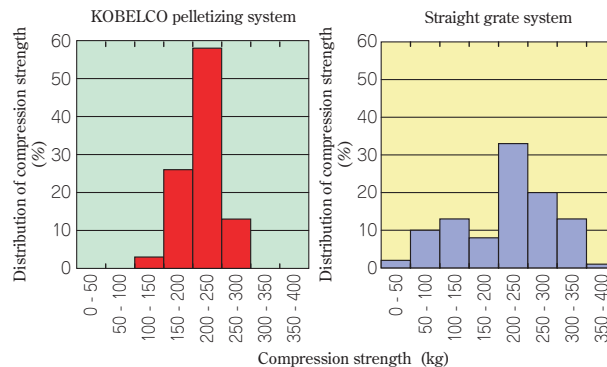


図13 製品ペレットの比較

Fig.13 Comparison of product pellet

層として一つの機器によって乾燥、予熱、焼成、冷却工程を経て製品となり、しかもペレットの層厚が300mmと厚いことから上層と下層のペレットの温度履歴に差が存在する。その結果、ペレットの品質にばらつきが生じ、とくに圧潰強度や回転強度に顕著に表れている。

一方、グレートキルン方式で製造されたペレットは、前述のようにキルンにおける焼成工程において転動作用を受けるため、すべてのペレットがほぼ均一に加熱される。さらに、焼成温度はキルンバーナでの燃料燃焼割合を調整することによって容易に精度よく調整することができることから、均一で高品質な製品ペレットを得ることができる。

図13にグレートキルンプロセスとストレートグレートプロセスで製造されたペレットの圧潰強度の分布図を示す。

#### 5. 幅広い種類の原料への対応

グレートキルン方式では原料の乾燥・予熱工程、焼成工程、および冷却工程をそれぞれ個別の装置が分担して行っているため、各工程の制御を独立して行うことが可能である。また、各種原料に対してそれぞれに最適な熱履歴となるような制御を与えることができ、これがグレートキルン方式の強みとなっている。すなわち、鉱石はマグネタイト100%からヘマタイト100%まで、それらの任意の配合の鉱石であっても取扱いが可能である。また、原料鉱石中に結晶水が多く含まれている場合には、結晶水の急激な蒸発による生ペレットの爆裂を避ける必要があるが、そのような鉱石に対しても、ペレットの急速な加熱を避けるような低温度帯での離水工程を設けることによって容易に対応できる。

#### 6. サンプルテストおよびプロセス設計

ペレットプラントの設計を行う場合には、そのプラントで取扱う鉄鉱石に最適なプロセス条件を決定して適切な機器のサイジングを行う必要がある。

その具体的な手順は、まず、プラント能力、原料性状、製品ペレットに要求される性状などの設計条件を基に、当社保有のプロセス設計シミュレーションプログラムを用いてマテリアル&ガスヒートバランスを計算し、グレート、キルン、およびクーラの焼成プロセスの最適なヒ



ートパターンを決定することから始める。プロセス設計シミュレーションプログラムには当社の豊富な経験に基づく計算パラメータを採用しており、このヒートパターンをサンプルテストにて再現し、予熱ペレットおよび焼成ペレットの所定の品質が確保されていることを確認する。

このようにして得られたヒートパターンに基づき、グレート、キルン、クーラ、およびプロセスファンや集塵機などの関連機器の最適サイジングを行い、プラント設計に反映している。

サンプルテストでは実際に取扱う鉄鉱石のサンプルを使用して各工程を模したテストを行い、ペレットが要求された品質どおりに製造できることを確認する。

当社は、上記手順に従ってプロセス設計を進める目的から、以下のようなテスト装置を有している。

1) バッチ式ボールミル：鉄鉱石や添加物を所定の粒度に粉砕する設備であり、1.2節で述べた乾式粉砕方式を採用している。

2) バッチ式ミキサ：鉄鉱石やバインダ、添加物を均一に、また造粒に適した水分になるように混合する設備である。

3) 連続式ディスク型造粒装置：生ペレットを製造する装置であり、実プラントで要求される特性をもった生ペレットが製造できるかどうかの確認を行うための装置でもある。もし要求される特性の生ペレットが得られない場合、鉄鉱石の粒度、バインダの種類や添加量を変えて造粒テストを繰り返し、最適な条件を求める（図14）。

4) ポットグレート：生ペレットを乾燥、予熱する装置である。プロセスガスの温度、流量、処理時間を任意に設定することができる。実際のプラントにおいては、ペレットはある高さをもったシュートを経由してグレートからキルンに送られ、さらにキルンの内部で転動作用を受けるため、一定以上の強度をもった予熱ペレットが必要になる。そうした予熱ペレットがグレートで製造できるかどうかをこの装置を用いて確認することができる。要求仕様を満たす予熱ペレットを製造するために、最適なヒートパターンで、かつ適切なグレートのサイズとなるようなプロセスガスの温度、流量、処理時間を把握することができる（図15）。

5) バッチ式キルン：ポットグレートで作られた予熱ペレットを焼成する装置である。焼成温度や処理時間を任意に設定することができるため、最終製品であるペレットに要求される品質が確保される焼成温度、処理時間を決定する目的で使用する（図16）。

6) バッチ式クーラ：キルンで焼成されたペレットを冷却する装置である。

7) ペレットの品質試験装置：ペレットの物性値、還元性状、化学組成などの品質を確認するための測定装置である。

当社はこれらの装置を用いてサンプルテストを実施し、最適な機器サイジングを行ってプラント設計を進め



図14 ディスク型造粒装置  
Fig.14 Photograph of balling disc



図15 ポットグレート装置  
Fig.15 Photograph of pot grade

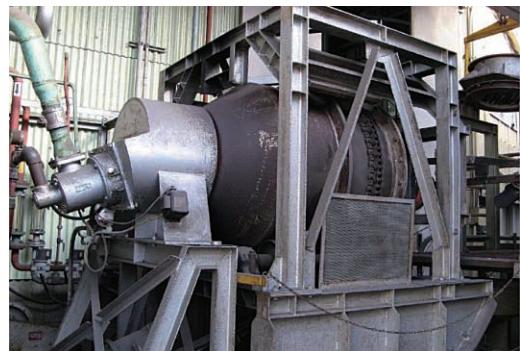


図16 バッチ式キルン装置  
Fig.16 Photograph of batch type kiln

表2 要求されるペレット品質  
Table 2 Typical required figures for pellets

Phase	Physical property	Typical target figure
Green ball	Drop strength	>5
	Compression strength	>1kg
Product pellet	Compression strength	>250kg
	Tumble strength	>95%
	Abrasion Index	<4%
	Reduction behaviour	
	(a) For BF pellet	
	Reducibility	>60%
	Swelling	<15%
	(b) For DR pellet	
	Metallization	>92%
	Fragmentation	<3.5%

ている。

表2にプロセス設計およびサンプルテストの指標となるペレット品質の代表的な数値を示す<sup>5)</sup>。

## 7. 最近のペレットプラントの紹介

当社が近年に納入／受注したペレットプラントの概要を説明する。また、表3に各ペレットプラントの主な仕様を示す。

### 1) イラン向け：アルダカンペレットプラント (図17)

このプラントはイランの内陸部ヤズド市の近郊に位置する。鉄道による鉄鉱石受入設備から製品ペレットの貨車積み設備までのペレット製造設備一式を受注したもので、原料搬送機器を担当するタイム社（スペイン）、および電気設備を担当するABB社（スイス）とコンソーシアムを組み、プロセスエリアの設計、機器の供給、および工事管理を行った。

このペレットプラントから200km程離れた鉱山の山元には当社が納入した年産500万トンの選鉱プラントがあるが、そのプラントで処理された精鉱（マグネタイトとヘマタイトの混合）が本ペレットプラントの原料鉄鉱石として供給される。

このペレットプラントで製造されたペレットは、モバラケ製鉄所（当社が納入したMIDREX®法ガス直接還元プラントが稼動している）などに鉄道輸送され、製鉄原料として使用されている。

ペレットプラントにおける汎用機器（小型ファンやポンプなど）や製成品は、イラン国内の設計会社や製作会

社を多く活用してローカライズしたものであったが、製作指導や納期管理をきめ細かく実施したことによって成功裏に完工し、2008年より順調に運転されている。

### 2) バーレーン向け：GIIC<sup>注)</sup>ペレットプラント2号機 (図18)

1985年に納入した1号機に続いて受注した2号機であり、原料の荷揚げより製品ペレットの出荷設備までを含む全設備の設計・機器供給・工事・試運転を行うフルターンキープロジェクトである。

1号機で製造されたペレットは、バーレーン周辺諸国のMIDREX法ガス直接還元プラントの原料として供給されており、その製品品質の高さと、当社が納入したカタールのガス直接還元プラントの順調な建設実績がこの2号機の受注に結びついたものである。

当社がこれまでに納入したペレットプラントの能力は年産400万トンクラスまでであった。しかしながらバーレーン向けGIIC2号機案件では、客先からのプラント能力の大型化への要望に対応すべく、従来の焼成機器よりサイズアップした年産600万トンクラスの開発を進めた。本プラントは、当初の計画どおり2009年末に運転が開始された。

### 3) オマーン向け：Vale/Soharペレットプラント(図19)

鉄鉱石の生産量世界一を誇るブラジルVale社が、中東地区への鉄石・ペレット供給拠点としてオマーン Sohar

表3 ペレットプラント納入実績  
Table 3 Reference list of pellet plant

Plant	FMO Venezuela	Chador Malu Ardakan / Iran	GIIC No.2 Bahrain	Vale Sohar / Oman
Nominal capacity	3,300,000 ton/year	3,400,000 t/year	6,000,000 t/year	4,500,000 t/year×2 lines
Start-up	1994	2007	2009	2010
Feed material	Hemetite	Magnetite-Hematite	Hematite	Hematite
Product	DR Pellet	DR pellet	DR pellet	DR pellet
Balling disc	φ 7,500mm×5units	φ 7,500mm×6units	φ 7,500mm×9units	φ 7,500mm×7units (×2 lines)
Travelling grate	4,716mm W×66,388mm L	4,716mm W×63,975mm L	5,782mm W×83,020mm L	4,716mm W×68,801mm L (×2 lines)
Effective area	284.5m <sup>2</sup>	273.1m <sup>2</sup>	440.8m <sup>2</sup>	295.9m <sup>2</sup>
No. of windbox	25	24	25	25
Length/bay	2,413mm	2,413mm	3,050mm	2,413mm
Rotary kiln	6,000mm ID×46,000mm L	6,000mm ID×46,000mm L	7,200mm ID×50,000mm L	6,900mm ID×45,000mm L (×2 lines)
Annular cooler	φ 18,500mm×2,800mm W	φ 20,000mm×3,100mm W	φ 22,000mm×3,700mm W	φ 22,000mm×3,700mm W (×2 lines)
Effective area	145.5m <sup>2</sup>	177.5m <sup>2</sup>	234.0m <sup>2</sup>	234.0m <sup>2</sup>



図17 アルダカンペレットプラント  
Fig.17 Photograph of Ardakan pelletizing plant



図18 GIICペレットプラント2号機  
Fig.18 Photograph of GIIC No.2 pelletizing plant

脚注) Gulf Industrial Investment Co.





図19 Sohar ペレットプラント鳥瞰図  
Fig.19 Bird's-eye view of Sohar pelletizing plant

地区に建設する同社初の海外ペレットプラントである。当社は、原料の調質・混練、造粒、焼成、スクリーンの各工程を含めたプロセスエリアを対象とする基本設計を受注した。港湾設備、ヤード設備、鉱石粉碎設備、およびユーティリティ設備の基本設計は Vale 社とブラジルの設計会社が実施する。全体の設備規模として、一期工事では年産 450 万トン×2 系列、二期工事も同様に年産 450 万トン×2 系列で、年間 1,800 万トンのペレット生産を行い、鉄鉱石として在庫 4,000 万トンの供給基地となる予定である。

Vale 社がブラジルに保有するペレットプラントは全てストレートグレート方式であるが、グレートキルン方式によるペレットの品質の高さから、当社の KOBELCO Pelletizing Plant の採用が決まった。2009 年より現地工事が開始されており、2010 年に運転開始の予定である。

#### 4) マレーシア向け：Vale ペレットプラント

ブラジル Vale 社による 2 番目の海外ペレットプラントの建設プロジェクトであり、アジア地区への鉱石・ペレット供給拠点としてマレーシアペラ州に建設するものである。年産 450 万トン×4 系列のペレットプラント建設が予定されており、オマーン向けに引続いて当社の KOBELCO Pelletizing Plant が採用された。2009 年末より設計を進めている。

## 8. ペレットプラントの環境対応

近年、新興諸国においてもペレットプラントに対する環境基準への要求が厳しくなっており、日本と同等レベルの基準値を満足する環境への悪影響が少ないペレットプラントが求められている。

主にペレットプラントに関連する環境基準とその対応策を以下に記す。

### 1) 粉塵

プロセスより発生する粉塵は大気へ放出することなく、電気集塵機、バグフィルタ、スクラバなどを設置して回収し、原料として再利用しているが、近年、原料ヤードなどのマテリアルハンドリングエリアにおける防塵対策が新興国において関心を集めており、ヤードへの散水や大型フェンスの設置によるプラント外への飛散防止策がとられるようになってきている。

### 2) 硫黄酸化物 (SO<sub>x</sub>)

硫黄分は、濃度の差はあるものの、原料である鉄鉱石や石灰石、ベントナイト、ドロマイトなど、あるいは燃料である天然ガス、オイル、石炭など、ペレットの製造過程で使用される多くの物質を通じてプロセスに供給される。この硫黄分は、ペレット製造プロセスにおいて全量酸化されることによって SO<sub>x</sub> が生成され、そのほとんどが排ガスとして排出される。

窒素酸化物 (NO<sub>x</sub>) と異なり、プロセス的に SO<sub>x</sub> を抑える手段はないため、排ガス中の SO<sub>x</sub> を抑制する方法としては、つぎの二つが考えられる

- ・硫黄分の少ない原料、燃料を使用する
- ・発生した SO<sub>x</sub> を処理する脱硫設備を設置する

脱硫設備の代表的なものには、水と混ぜた石灰石スラリーと排ガス中の SO<sub>2</sub> を反応させ、硫黄分を石膏 (CaSO<sub>4</sub>・2H<sub>2</sub>O) として回収する石灰スラリー法が採用されている。

### 3) 窒素酸化物 (NO<sub>x</sub>)

グレートキルン方式における熱源は、キルンに設置されているバーナであり、クーラからの排熱回収空気を燃焼空気としている。この燃焼空気の温度は 1,000~1,100 °C であり、火炎温度は 1,600 °C 以上になることから、発生する NO<sub>x</sub> のほとんどは燃焼空気の窒素分が酸化されて発生する Thermal NO<sub>x</sub> である。

この Thermal NO<sub>x</sub> は、バーナの火炎温度が高いほど、あるいは燃焼空気の温度が高いほど多量に発生する。この NO<sub>x</sub> の排出を抑制する方法としては、

- ・低 NO<sub>x</sub> 燃焼
- ・脱硝設備 (De-NO<sub>x</sub> system) の設置

の二つがある。

低 NO<sub>x</sub> 燃焼は、プロセスの改善や Low NO<sub>x</sub> バーナの適用によって NO<sub>x</sub> の発生を抑えようとするものであり、

- ・燃焼空気の温度もしくは量の低減を図る
- ・グレートにもバーナを配置することにより、キルンバーナの熱負荷を下げる
- ・火炎内に局所的な還元雰囲気をもつ領域を作ることによって NO<sub>x</sub> の生成を抑える
- ・広い表面積をもつ火炎を作ることによって火炎温度を下げ、NO<sub>x</sub> の生成を抑える

といった方策が考えられるが、プロセス全体の熱効率を下げることになる可能性がある。

発生した NO<sub>x</sub> を還元剤や触媒を用いて還元処理する De-NO<sub>x</sub> system には、

- ・無触媒脱硝法 (SNCR 法)
- ・選択触媒法 (SCR 法)

があり、いずれもアンモニア、もしくは尿素を利用して NO<sub>x</sub> を還元する方法である。SNCR 法は、900~1,000 °C の雰囲気アンモニア (尿素) を吹込んで還元するものであり、SCR 法は、250~380 °C の雰囲気触媒を利用して還元を促すものである。

新設される天然ガスもしくは重油を燃料とするペレットプラントにおいて、およそ 20% と言われている Low NO<sub>x</sub> バーナの NO<sub>x</sub> 低減率だけでは NO<sub>x</sub> 環境基準値を達

成することは難しい場合が多く、その場合は De-NOx system の付加的設置が必要である<sup>6)</sup>。

**むすび**＝新規プラントが設置される国々においては、従来、もっぱらペレットや設備の品質、あるいはその設備価格に対して客先の関心があった。このため、我々もそれらを中心として対応してきた。しかし近年では、設置される国々における環境に対する関心が高まってきたことから、環境への対応という面からの設備の検討も広く行われるようになってきている。

また、鉄鉱石の世界的な物流拠点のなかにペレットプラントが組入れられるようになってきたこと、あるいは還元鉄プラントおよびその下流の電気炉製鋼プラントを一体とするペレットプラントが計画されるようになってきたことなど、世界の鉄鋼分野のなかでのペレットプラ

ントの役割はますます大きくなってきている。

当社は今後ともペレットプラントの建設、運転の経験を積重ね、この分野の技術のさらなる発展に貢献していきたい。

#### 参 考 文 献

- 1) テックスレポート：輸入鉄鉱石年鑑 2008 年度版, pp.180-185.
- 2) Errol G. Kelly et al.: Introduction to Mineral Processing(1982), pp.274-277.
- 3) Mular A et al.: Design and Installation of Communion Circuits PT. 2 (1992), pp.728-737 (Chapter 40).
- 4) 土井寧文：鉄と鋼, 第 6 号 (1964), pp.64-72.
- 5) テックスレポート：輸入鉄鉱石年鑑 2008 年度版, pp.315-333.
- 6) 定方正毅：燃焼と地球環境 (5) クリーン燃焼技術とその有効性 (その 1) 燃焼と環境汚染, 空気調和・衛生工学 74 (9), pp.831-838.