



# 鉄の歴史

## 海外技術の吸収と 日本鉄鋼業の発展-8

### 鉄鉱石ペレット製造技術の導入と発展

Successful Development of Iron Ore Pelletizing Technology at Kobe Steel, Ltd.

元 (株) 神戸製鋼所 田口和正 Kazumasa Taguchi 元 (株) 神戸製鋼所 明田 莞 Kan Aketa  
 元 (株) 神戸製鋼所 国井和扶 Kazuo Kunii (株) 科研テック 技術顧問 稲葉晋一 Shinichi Inaba

#### はじめに 神戸製鋼所のニーズと導入の経緯

鉄鉱石ペレットは微粉鉄石を直径10数mmの球状に焼き固めたもので、高炉の原料として使用される。そのほぼ完成された製造プロセスの概略図を図1に、またペレットの外観写真を図2に示す。

神戸製鋼がペレットを製造するきっかけになったのは、

1961年当時、鉄山機械やセメント製造装置について技術提携先であった米国Allis Chalmers社(現METSO)の開発したグレート・キルン方式のペレット工場が北米の鉄鉱山で順調な生産をあげており、高炉使用においても好結果を得ているという情報であった。さらに、北米では、ペレット工場の建設が盛んで、生産量も急増していることが伝えられていた。

この時期は、灘浜工場(現神戸製鉄所)で当社初の高炉が

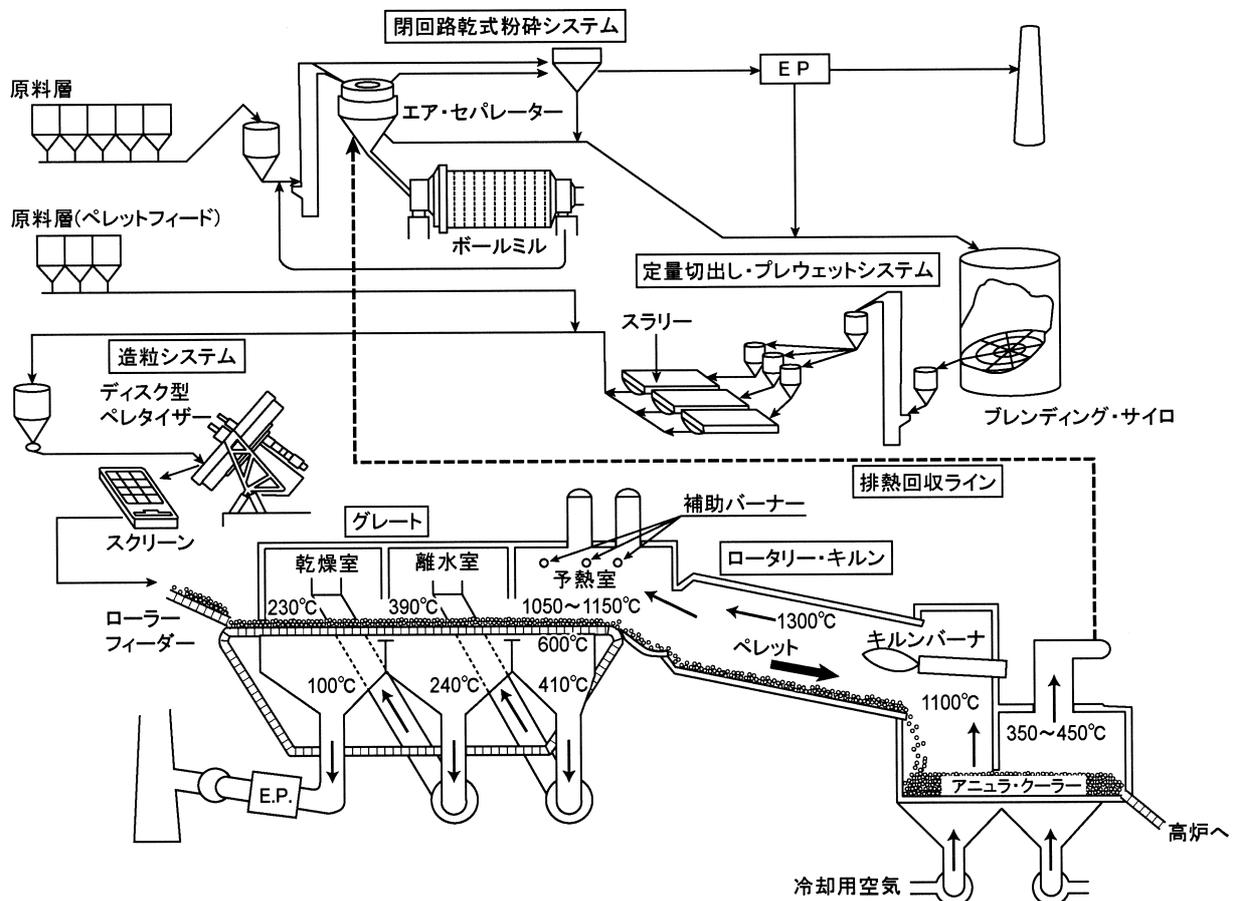


図1 ペレット製造プロセスの概略フロー図

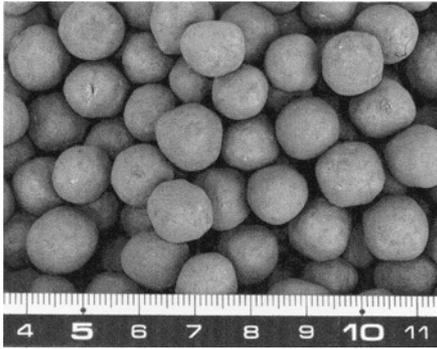


図2 高炉用原料としての鉄鉱石ペレットの外観

1959年1月に稼動し、順調な操業を維持し、高炉メーカーとしてのスタートが切られた時である。さらに、将来に亘って先発高炉メーカーに伍して行くためには他社に無い技術や設備を導入して、後発の不利を克服すべきと言う経営的な思考があった。ペレット製造技術はこのような背景を持って、鉄鋼部門の新設備として導入が企図され、調査・検討が始められた。また、機械部門においてもペレット製造設備の製作・販売に進出したいとの意向が示され、鉄鋼部門、機械部門それに研究所が加わって導入・開発計画が推進された。

また、この頃我が国では自溶性焼結鉱の重要性が高まり、高炉各社は競って焼結鉱用原料鉱石の確保に乗り出しており、後発の当社が、十分な量を確保することは困難視されていた。しかし、ペレットの導入によって、かかる問題も解決される可能性が認識されるようになってペレット製造技術の導入に拍車がかかった。本稿ではペレットの製造技術完成に至る過程を開発経過を追って振り返ってみる。

## 2 当時のペレット製造の状況

ペレット製造法は北米で膨大な埋蔵量を有するタコナイトと呼ばれる貧鉄 (Fe 30%程度) の活用法として開発された。タコナイトの選鉱によって得られる微粉精鉄は鉄分が65%程度まで富化されるが、粒度が74  $\mu\text{m}$ 以下の微粉となるため、従来の焼結法には使用できず、新しい塊成化法として開発された。ペレットの工業生産が始まったのは1950年代の中頃で、当時としては新しい技術であった。

ペレットは微粉精鉄をまず造粒機によって直径10～15 mmの湿潤ボール (生ペレットと呼ぶ) とし、これを1200～1300℃の高温で焼成して作る。ペレット製造方法はこの焼成炉の型式によって、シャフト炉方式、移動グレート方式およびグレート・キルン方式の3方式がある。

ペレットの生産が始まった当時は専らシャフト炉が採用されていたが、1960年代になると移動グレートやロータリー・キルン方式が多くなり、シャフト炉の新設はほとんどな

くなってしまった。

北米の山元で製造されたペレットは鉄道や五大湖を航行する鉱石専用船で北米の製鉄所に運ばれ、高炉で使用された。ペレットの使用によって、高炉の操業成績が向上しており、ペレットの使用量は急速に伸びていたのである。

## 3 当初の基本計画

灘浜工場第3期計画の一環として、ペレット製造設備の建設を前提に基本計画の作成が始まったのは1962年初頭である。この年6月には北米のペレット事情の現地調査も行われ、またペレット原料としての使用が想定される鉄石銘柄の選定も行われた。

### 3.1 原料鉄鉱石の事前処理方式：

#### 湿式法が会社の方針

ペレットの原料鉄鉱石は、その導入の目的から焼結鉱原料鉄石と重複しないものとならざるをえず、鉄石銘柄が多岐に亘り、且つ鉄石種も磁鉄鉱、赤鉄鉱はもちろん、褐鉄鉱粉を含むものまでが対象とされた。当時、北米のペレット工場は自社鉱山の単銘柄鉄石のみを使用しており、多銘柄の原料鉄石を用いる例は見当たらなかった。したがって、原料鉄鉱石の事前処理として多銘柄の鉄石の混合、粉碎および水分調整の技術を独自に確立する必要があった。また、灘五郷の一角で、日本有数の酒造会社に隣接する灘浜工場の立地から厳しい防塵対策が必要とされ、公害防止の見地から鉄石の事前処理に湿式法を採用することは会社の方針であった。

### 3.2 ペレットの焼成方式：

#### 均質焼成可能なグレート・キルンを採用

焼成方式の選定は今後の発展が期待される移動グレートとグレート・キルンを対象に行われた。両者それぞれ一長一短があったが、生ペレットの乾燥条件の制御ができ、厳密な温度制御が要求されるヘマタイト原料にも対処できることに加え、ペレットが転動しながら加熱されることによって均質に焼成され、ばらつきの少ない良質のペレットが得られるグレート・キルン方式に決定された。

この決定を受けて、当時のライセンサーであったAllis Chalmers社と打ち合わせが行われたが、前記の混合原料鉄石の事前処理については先方も経験が無く、パイロット・プラントによる試験を推奨された。また、褐鉄鉱質を含む鉄石を使用した生ペレットの乾燥には幾つかの制約条件が存在し、適正なグレートを設計するための小規模バッチ式グレート試験の必要性が指摘された。

## 4 ベンチ・テスト

### 4.1 小規模バッチ式グレート・テスト：

#### バースティングとの戦い

小規模バッチ式グレートを用いた研究の結果、生ペレットがロータリーキルンで焼成される前のグレート上で乾燥される時に、バースティングと称する破裂現象を起こしやすく、また、予熱段階で十分な強度の得られないことが判明した。この原因は、北米の精鉱を原料とするペレットと異なり、超微粉が存在するために生ペレットの気孔率が小さく脱水され難いこと、原料鉄鉱石の結晶水が付着水の蒸発温度より高いある一定温度で急速に熱分解すること、さらに、原料の一部に鉄鉱石粒子間の拡散結合速度の遅い赤鉄鉱が存在するため、により高い予熱温度を必要とすることが判明した。

これらの結果をもとに、脱水過程を付着水の乾燥段階と結晶水の離水段階の2つに分割し、段階的に加熱するという新しい概念が提案された。灘浜ペレット設備はグレート部分の乾燥室と予熱室の間に、北米の設備には無い離水室を設け、さらに予熱室に補助バーナーを設置することとなった。

### 4.2 高炉原料としての品質評価テスト：

#### 荷重還元試験法の採用

当時、ペレットの品質評価試験は屋外の長期貯蔵や鉄道、船舶による長距離輸送を対象とした北米の物理特性評価と、スウェーデンの海綿鉄製造用ウィーベルグ炉の装入物としての還元試験法<sup>1)</sup>が行われていた。

1963年頃、国内において高炉メーカーがペレットの輸入を開始し、第一陣として南米のペレットが入荷した。この輸入ペレットは標準的な還元試験中に綿菓子のように膨れ上がるという想像もしなかった異常を呈し、ペレットの還元性状への関心が一挙に高まった。この結果、高炉業界では輸入ペレットの試験法の一つとして「ふくれ」試験法を制定するに至った。

社内では、これを契機として高炉装入物としてのペレットの評価法の確立が急がれ、1963年にレンガの試験法を見習って、荷重還元試験法が考案された。この試験法は高炉内においてペレットが曝される荷重、ガス組成、および温度の条件を、操業中の灘浜第2高炉シャフト部で実際に測定して設定しており、高炉内におけるペレット層の収縮とそれに伴う炉内通気性の変化を判定する方法であった。

この試験法の確立によって高炉装入物としてのペレットの品質評価基準が設定され、ペレットの品質改善や自溶性ペレットの開発、実用化が自信を持って推進された。

## 5 パイロットプラントの建設と操業 湿式粉碎から乾式粉碎への変更

1963年、灘浜に20トン/日規模のパイロットプラントが完成した。この主な目的は複数銘柄の輸入鉄鉱石を混合した原料から工業的にペレットを製造できるか、製造されたペレットの品質は高炉装入物として重要視されている自溶性焼結鉄のそれに比肩し得るものかという二つの命題を確認することであった。

パイロットプラントの特徴は①湿式粉碎方式(湿式ボールミル-シクナー-真空フィルター)、②ディスク式ペレタイザ(図3)、③グレートキルン式焼成設備を採用したことである。

①の湿式粉碎の採用は前述のごとく公害防止の見地から会社の方針であったが、原料の特性に由来する基本的な問題が浮上した。当時の原料鉄鉱石は東南アジアやインド産が主体で、しばしばゲーサイトやリモナイトを含み、比較的軟らかい鉄石で微粉碎されやすく、このためにフィルターによる脱水に支障を来し、所定水分値を有するフィルターケーキを得ることが出来なかった。このため、次工程の造粒はほとんど不可能であった。このフィルターケーキの脱水を促進して造粒に適した水分値を得るために、フィルターケーキを赤外線乾燥したり、叩いてケーキを稠密化して水分を浮き上がらせたりして、ようやく所定の水分値まで脱水でき、造粒が可能になった。しかし、このような操作を実際に採用することは極めて困難であると思われ、これが後に述べる乾式粉碎方式へ転換の糸口となった。

②ディスク式ペレタイザを採用した理由は、ディスク回転数、傾斜角あるいはリム高さ等を任意に変更出来るため、造粒性の異なる鉄石を混合して使用する場合に、原料に応じた最適な造粒ができると考えたことによる。

③結晶水を含有する鉄石を使用するため、グレートキルン方式としては世界で初めて乾燥室と予熱室との間に離水室(室温400℃)を設けたグレートを採用した成果が見事に現れ、バースティングも発生することなく順調にテスト操業が

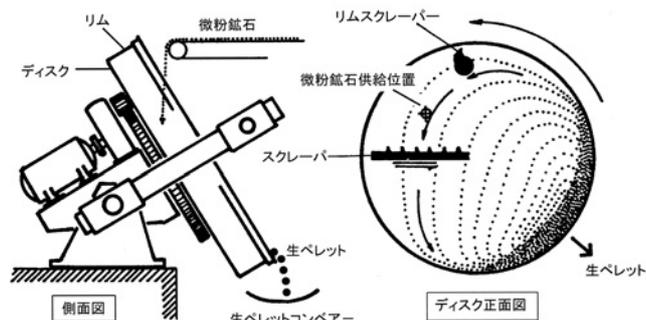


図3 ディスク式ペレタイザの概略図<sup>11)</sup>

出来た。

パイロットプラントで焼成されたペレットは、表面が滑らかで光沢があり、強度が高く、性状試験結果はふくれ指数も低く、良好であった。

1965年頃、パイロットプラントの操業と並行して3000トン/日プラントの建設計画が進行していた。しかし、パイロットプラントの操業結果を踏まえると、多銘柄の輸入鉄石を使って湿式法で造粒原料を製造することに、工程能力、工程管理等に関する多くの技術的課題が浮上した。幸い、神戸製鋼はセメント製造設備の分野に永い歴史を有し、当時、既にセメント焼成設備を数社に納入していた。その方式は石灰石、粘土などのセメント原料を乾式粉碎して、造粒した生ペレットをグレート、キルンに装入して焼成するもので、所要熱原単位が低く、生産性の高い特長が評価されていた。この実績をもとに、鉄鉱石を乾式粉碎した後に加水して造粒原料を得る乾式法と湿式法で造粒原料を製造する場合の設備費、運転費および設備の所要面積を比較するフィジビリティスタディが行われた。その結果、乾式法の方がいずれの費用も安く、特に設備所要設置面積が少なくすむとの結果を得たことは、当時、埋め立て造成された製鉄所の土地は貴重で無駄な面積の利用は許されなかったこともあり、上司に方針転換を認めてもらった忘れ難い思い出がある。

## 6 瀬浜 100万トン プラントの建設と操業

### 6.1 乾式粉碎：

#### 微粉鉄の流体特性との戦い

前述のような経緯で原料鉄石の事前処理方式として乾式粉碎方式を採用したが、計画時に筆者らが心配していたのは微粉鉄の定量切り出しと均一な水分調整であった。定量切り出しはセメント工場で実施されている方法で対処できると安易に考えていた。一方、水分調整は次の造粒工程を安定して操業するための決定的な要因になるためテストも充分に行い、使用機器もかなり慎重に選択した。しかし、微粉鉄の定量切り出しは予想を超える難問に遭遇し、筆者らの計画がいかにかいものであったかを思い知らされる事となった。

鉄鉱石は粉碎直後は空気を多量に含んでいるためあたかも液体のような挙動を呈し、小さな穴からでも水のごとく噴出する。しかし、時間の経過とともに空気が抜け、比重の大きい鉄鉱石粒子は沈降して粉体層全体が固体の性状を示す。この大きな性状変化のため、安定した定量切り出しは極めて難しい事が判明した。粉碎直後はサイロの底部に設置した小さな切り出し用チェーンコンベヤーの出口から粉鉄が噴出して止まらず、サイロ前の水分添加機器が粉鉄で埋まる事も度々

であった。また、サイロ装入後時間が経つと、切り出し用のチェーンコンベヤーが重い鉄鉱石粉で固められチェーンコンベヤーの駆動装置は無論のことチェーンブロックなどで引き出そうと試みたが微動だにしない状態にもなった。

この解決策は種々検討の結果、一度に多量の粉鉄がチェーンコンベヤーへ供給されるのを防ぐことがポイントと考え、複数個の孔を開けたカバーでチェーンコンベヤーを覆うこととした。しかし、この方法では穴の大きさと数が問題で、試行錯誤を繰り返し、一応の解決を見たが、根本的には引き続いて建設された加古川の200万トンプラントで解決された。

### 6.2 閉回路乾式粉碎設備の採用：

#### 微粉鉄の粒度分布制御

既に述べたように使用する一部の鉄石が結晶水を含有する軟質ヘマタイトで微粉碎されやすいため、グレートでの乾燥、離水段階で生ペレットがバースティングを起こさないように粒度分布が狭く、且つ、10 $\mu$ 以下の超微粉を発生しない乾式粉碎設備が必要であった。そこで、閉回路粉碎方式を採用し、微粉鉄の回収にはマルチサイクロン-電気集塵機方式を採用して粉塵公害の防止を図った。これら設備はセメント設備の経験をベースに採用したが、比重の大きな鉄鉱石ではセメントでの操業データを活用できず、特にエアセパレータによる粒度調整を試行錯誤で行わざるを得なかったことから順調な操業を得るのに時間を要した。

### 6.3 造粒設備：

#### 「造粒はサイエンスではなくアート」の実地体験

ディスク式ペレタイザはセメント業界には採用の実例があったが、ヘマタイト鉄鉱石主体で、且つ混合原料を対象とする設備となると世界でも例がなく、独自に仕様を決定せねばならず苦労した。パイロットプラントの2.1m径の実績と海外のペレットプラントのディスク径と容積当たりの生産性実績を参考にし、当時最大であった5.5m径のディスク式ペレタイザ5台を設置した。

ペレタイザで造粒中のボールに直接水分を噴射しつつ乾粉原料を投入すると、造粒が容易になり、生ペレットの強度が高くなることからセメントプラントではこの方法が採用されていた。しかし、生ペレットが緻密になり、乾燥時の耐熱衝撃性が低くなる(バースティングし易くなる)ことから、造粒原料の予備処理として予め乾粉原料に水分を添加するプレウェット方式を採用した。この方式はサイロから切り出された乾粉原料に水分を添加して混合するパグミルを設け、さらに、ホッパーで一定時間滞留させて、造粒原料の水分の均質化と水分値の変動を少なくするものであった。しかし、当初は鉄石の配合が変わるたびに造粒状況が変わり、しかも未だ

原料水分が変動しており、生産量を確保できず苦労したが、交絡している制御要因を丁寧に調整することによって、順次操業も安定し、目標の生産量を達成できるようになった。この間、言い習わされていた「造粒はサイエンスでなく、アートである」ことを実地体験することとなった。

その後、研究所で単銘柄鉱石の造粒特性を調査し、その特性を指数化することに成功した。この指数を原料の配合に適用し、合計指数を所定の範囲に収めることによって、原料配合の変化に伴う造粒のばらつきは完全に解決された。

#### 6.4 キルンリングとの戦い

ロータリーキルンで焼成されたペレットの品質には特に問題はなかったが、ロータリーキルンの操業でキルンの内壁に成長した大きな付着物、いわゆるキルンリングには悩まされた。当時、キルンの加熱燃料には重油が用いられ、クーラーからの二次空気(約1000℃)で燃烧した輝炎は約1600℃の高温であった。最初の酸性ペレットを製造していたときにはキルンリングの発生は皆無であったが、石灰自溶性ペレット( $\text{CaO}/\text{SiO}_2=1.2$ )になるとキルンリングが多く発生し、時には操業不能になった。スラグ状態図等を参考にして自溶性ペレット中のスラグの成分と量を制御することで解決の道が多少開けたが、最終的な解決に到ったのは後の加古川プラントであった。

## 7 加古川200万トンプラント

加古川製鉄所の建設計画の一環として、大型高炉に対応した大型ペレットプラントが建設された。この中心的課題は大型ペレット設備の安定操業であった。灘浜の100万トンプラントの経験を踏まえて、以下に示すような開発がなされた。図4は加古川200万トンプラントの外観である。

### 7.1 ブレンディングサイロの採用：

#### 貯蔵微粉鉱の流動状態の維持

加古川の大型プラントでは、サイロ内の貯蔵レベルの変動や層崩れなどの影響が定量切り出しの攪乱要因にならないように、大量の粉鉱を貯蔵するサイロと定量切り出し装置とを分離した。この貯蔵サイロの容量は1500トンで、セメントで用いられていたエアブレンディングサイロを鉄鉱石用に改造した。底部に7°の傾斜角(セメントでは3°)を持つ陶製多孔板を敷き詰め、これを9分割して高压空気を区画毎にサイクリックに噴出させ、ブレンディングするものであった。これにより、サイロ内の粉鉱は常に流動状態を保って粉鉱が沈降し硬化するのを防いだ。

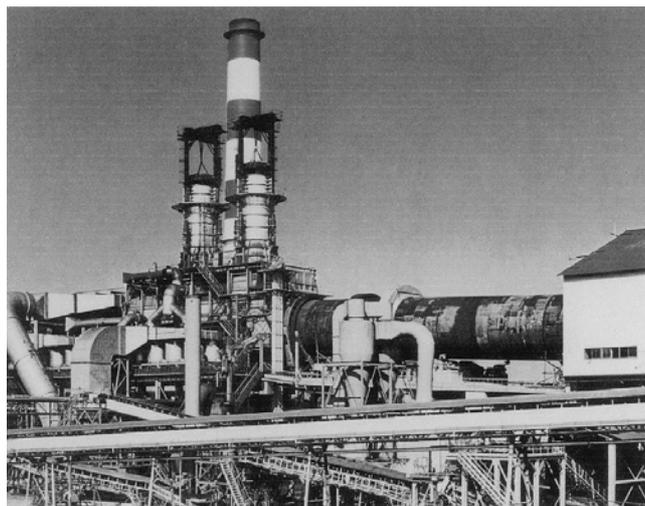


図4 グレート・キルン方式で世界最大級の加古川ペレットプラント

### 7.2 微粉鉱を流動体として扱う定量切り出しシステム

サイロから切り出されたフラッシングしやすい鉄鉱石粉の定量切り出し装置は二段式の小型ホッパーと定量フィーダーから構成した。各ホッパーは滞留時間を短くするために小容量で、しかも上部ホッパーの変動が下部ホッパーに影響を与えないように、上下ホッパーは弁で完全に遮断される構造とした。また、下部ホッパーは定量切り出しに影響しないようにさらに小さくし、下部ホッパーから定量フィーダーへの切り出しには液体用の流量調節弁を用いた。このような開発によって灘浜プラントから始まった、微粉鉱の貯蔵と定量切り出しの問題は完全に解決を見た。

### 7.3 キルンリングの発生：

#### 春になるとキルン煉瓦が落ちる

ペレット工場の操業では、キルン煉瓦の寿命延長は最大の関心事である。キルンは温度を一定に保つために熱容量の大きな高級煉瓦が約30 cmの厚さで張られている。この煉瓦を損傷する大きな要因の一つは、リングの付着で、それが煉瓦の一部を伴って剥落する。

加古川のペレット操業開始後2年経った春、毎年気温が高くなってくるとリングの排出量が増え、それに付着した煉瓦の破片も増加する傾向があることに気づいた。北米のキルンは屋内に設置されているが、加古川では屋外設置であり、外気に曝されたキルン鉄皮からの放散熱量は冬に大きく、春、外気温の上昇とともに減少する。そのため春になるとキルン煉瓦の内面温度が上昇し、リング付着ゾーンも拡大する。そこで、外気温の上昇に合わせてバーナーでの燃焼量を減らし、焼成帯温度を下げた煉瓦の寿命延長を図った。

## 7.4 コンピュータ制御

グレートキルンプロセスの制御は系の熱容量が膨大なことと、装入量が造粒工程の生産量に依存しており変動があることで、プロセス制御が難しく、ペレット先進国の北米でも、また、セメントプラントにおいても、コンピュータ制御は採用されていなかったが、均質なペレットを経済的に安定して生産することを狙いとして、コンピュータ制御の開発に取り組んだ。

先ず灘浜ではプロセスの目標設定値の計算にコンピュータを用いたが、機器のマイナーループの制御はアナログであったため、コンピュータ制御のメリットを十分に生かすことが出来なかった。そこで、加古川では、マイナーループ制御とシーケンス制御にはD.D.C (DirectDigitalControl) コンピュータを用い、制御因子の設定には別の上級コンピュータを設置した。特に、造粒のプレウェット水分の制御において混合系の時間遅れに対応するため、時間的マッチングが取れるトラッキング制御、およびアクションを指示しない不感帯領域を設けた制御に加え、設定値の計算に論理式を組み込んだロータリーキルン焼成温度制御により高品質ペレットを安定して生産できるようになった。このコンピュータ制御は当時としては先進的な技術であった。

## 7.5 キルンバーナの燃料転換

当初、加古川においても灘浜と同じく重油燃焼で、高輝度火炎のためキルンリングが発生し易かった。また、大型キルンのため高圧で多量の重油を噴霧する必要があり、火炎形状の調整が難しかった。そこで、重油からコークス炉ガスに燃料を転換した。しかし、コークス炉ガスは水素を約50%含有しており、火炎は水蒸気放射が有るものの高輝度火炎でないため放射伝熱の効率が悪いことに加え、火炎は重油に比して短くメタンを約30%含んで火炎温度が低かったことから、焼成帯(キルンの長さ50mに対し出口端から15m位のところに熱が付き難かった。この対策として、バーナ中心から少量の重油を燃焼させて放射伝熱量を増加した。これらの経験と技術はオイルショック後の微粉炭燃焼方式の採用に充分生かされたのである。

なお、バーナーのコークス炉ガス燃焼量は $18,000\text{Nm}^3/\text{h}$ にも達し、これだけの量を一本のノズルで燃焼できるバーナーは見当たらず、苦労を重ねて自社設計した。また、コークス炉ガスを燃焼させるバーナーノズルの先端内径が60cm程もあり、最初の着火時には恐怖感に襲われた思い出がある。

## 7.6 排熱回収による省エネルギー

排熱の回収を積極的に行い、オイルショック当時、製品1トン当たりの焼成エネルギー量は焼結鉄製造の約半分であっ

た。さらに、乾式粉碎を採用しているため、原料鉄石の乾燥に重油を使用していたが、この乾燥の熱源もクーラーからの排熱に転換してしまった。

# 8 ペレットの品質改善

高品質ペレットの研究開発はペレット製造技術の開発と平行して、1963年頃より本格的に開始された。当初から開発課題の中心は自溶性ペレットの製造であったが、実操業開始後も長年に亘って品質向上の努力が続けられた。ペレットを自溶性化することによって小・中型の神戸高炉の成績は向上したが、加古川の大型高炉の操業において、種々の課題がクローズアップしてきた。その問題点は二つに集約された。第一は化学的特性に由来する問題で、ペレットは微粉鉄石の集合体で還元されやすく、生成した鉄がペレット表面でシンタリングするとともに、内部に高FeO含有スラグが生成して気孔を閉塞し、還元ガスの内部への拡散を阻害し、高温度で還元停滞を生ずる。第二の課題は物理的特性に由来するもので、形状が球形で転がりやすく安息角が小さいことから、大ベルから高炉へ装入されたペレットは中心部に多量に堆積しやすく、高炉内のガス流れが周辺流化し易い。この解決のために行われた研究開発の主な成果を、以下に振り返ってみる。

### 8.1 自溶性ペレットの開発(1960年代)<sup>2)</sup>

自溶性ペレット開発の課題は還元性の向上にあった。ベンチスケール試験の結果、ふくれ指数とJIS還元率は塩基度の上昇とともに著しく改善し、このキープポイントは石灰石の微粉碎と鉄鉱石粉との均一混合であることが判明した。また、石灰石は単独で粉碎するより、鉄鉱石と混合して粉碎することにより、一層微細に、しかも鉄鉱石粉と均一に混合されることが見出された。この混合粉碎は焼成ペレットの品質のみならず生ペレットの強度を高めるとともに、設備コスト低減の面でもきわめて有利な選択であった。米国で自溶性ペレットの実機テストが行われたものの、実生産に至らなかった原因は、このような最適手法を得るに至らなかったことにはなかったのではないかと想像される。

### 8.2 ドロマイト添加自溶性ペレットの開発(1970年代前半)<sup>3-5)</sup>

石灰石の添加により1100℃までの還元性状が改善され、1200℃までは焼結鉄より還元速度が大きいものの、1250℃では還元の進行が停滞する事が判明した。この還元停滞は、還元中に生成する低融点の高FeO含有スラグがペレットの表面に滲み出して気孔を閉塞し、還元ガスの内部への拡散が

抑制されるために起こる現象と推測された。また、実際に高炉の羽口から採取したペレットでは、表面に緻密な金属鉄を生成していることも観察された。この対策として①ペレット中の鉄分を高めてスラグ量を減らす、②MgO成分を添加してスラグの融点を高めることの二案が有効と考えられたが、原料入手の容易さからMgO成分をドロマイトによって添加する事とした。

ドロマイト添加自溶性ペレットは還元時の軟化開始温度、溶融開始温度などの高温性状が予想以上に改善され、還元停滞現象が解消した。さらに予期せぬ成果として操業時のキルンリングの発生が著しく減少し、ペレットプラントの安定操業の維持に大きく貢献した。

高炉でのドロマイト添加自溶性ペレットの使用は1975年に開始された。ペレット中のMgO含有量の増加とともに高炉炉内の通気性が改善され、鉍石/コークス比の増加および高温送風が可能となり、ガス利用率が向上した。ペレット配合率30～40%の操業において、MgO 1.4%含有のペレットを使用してコークス比は40～50 kg/t-pig低下した。

この研究過程ではCaO含有量の少ない新しいタイプの高MgOペレットも開発された<sup>6)</sup>。このペレットも高温還元特性に優れていたが、既にドロマイトペレットが軌道に乗っていたこともあり、自社使用には至らず、海外へ技術供与された。現在「オリビンペレット」の名で商用化されている。

ペレットを多量に使用した時に、ペレットが高炉の中心部に流れ込み、高炉内ガス流分布は中心流が抑えられ周辺流化する問題が未解決のまま残った。そのため高炉装入原料中のペレット配合率は30～40%に抑えざるを得ない状態が続いた。その対策として軽量ペレット及び破碎ペレットの開発が行われた。

### 8.3 大気孔・軽量ペレットの開発 (1970年代中期)

大気孔・軽量ペレットの開発のねらいは、ペレットの比重を軽くすることで、高炉装入時の中心部への流れ込みを回避し、同時に被還元性を高めることにある。ペレットを低比重化(高気孔率化)する方法として、粉鉄鉍石と大鋸屑を混合粉碎した原料で生ペレットを造粒し、焼成時に大鋸屑が焼失して空隙が増加することをねらった。このペレットは冷間・熱間特性ともに著しく改善され、尼崎高炉(内容積721 m<sup>3</sup>)を用いて100%配合までの使用試験を行った。その結果、高炉内の通気性が改善され、増鉍が可能となり、燃料比の低下と出銑比の増加する好結果が得られたが、製造当初から予想されたとおり大鋸屑の価格の高さと安定した量の確保に不安があり、断念せざるを得なかった。

### 8.4 破碎ペレットの開発 (1970年代中期)<sup>7)</sup>

ペレットの形状を異形化して、高炉内の装入分布を安定化することをねらいとして、破碎ペレットが開発された。破碎ペレットは平均17 mmの大粒径ドロマイト添加ペレットを焼成後破碎するものである。このペレットの特徴は①安息角が焼結鉍とほぼ同等で、高炉中心部への流れ込みが抑制され、高炉内の中心ガス流が安定するとともに、②被還元性に優れ、還元停滞が無い事である。大粒径ペレットの破碎歩留は種々改善の結果90%まで向上し、長期間高炉成績の向上に寄与したが、高炉の中心コークス装入法が開発されその任を解かれた。

## 9 むすび

高炉メーカーとして後発であった事による不利を克服しようと、他社に無いペレット製造技術の導入と独自技術の研究・開発に取り組み始めてから既に40年を超える。新しい技術と独自技術に社業の隆盛を描いて率先・陣頭指揮に当たられた杉沢英男氏(故人、元社長)と小南 曠氏(元副社長)の経営トップと一心に研究・開発に打ち込んだ若手技術者たちが一体となったプロジェクトであった。

技術導入とはいえ、原料条件、設置環境や使用条件等全く異なる条件下での建設、操業であり、予想だにせぬ大問題が次々に発生し、その都度寝食を忘れて解決に努力した。

高炉にとって最良のペレット品質の完成とともに、多量のペレットを高炉で安定して、しかも経済的に使用する技術の研究開発が推進された。この結果は高炉の中心コークス装入技術<sup>8,9)</sup>として開花し、高炉内のガス流れのみならず、炉床の通液状態まで制御できるようになり、高品質ペレット多配合による大型高炉は安定した操業を続けている。また、神戸No.3高炉は安定したペレット80%配合の操業<sup>10)</sup>を実施している。

高品質ペレットの製造技術の開発とペレット多量使用技術としての高炉中心コークス装入技術は、時期は異なるが、それぞれ大河内記念賞受賞の榮譽に浴することが出来た。また、後者は米国AIMEからJosef S.Kapitan Awardも授かり、長年の苦労は技術者としての喜びに変わったのである。

神戸製鋼は、ペレット製造設備と焼結鉍製造設備を併設することにより、微粉鉍石から塊鉍石まで幅広く使用できる原料面でのメリットを享受できる態勢を確立する事ができた。また、筆者らの技術が海外でも活用されペレット技術の向上に貢献できた事は喜びに耐えない。

ペレット製造における熱エネルギー所要量やエミッション量は焼結鉍製造の場合より少なく、環境に対する負荷は低いという利点がある。従って、今後ペレットの製造が伸びる可

能性があるのではないかとと思われる。特に、環境保全に厳しい北欧や鉄鋼生産量が急増する中国において、ペレット製造設備の発展は必定と確信するのである。

そして、40年を一言にて振り返れば、「意欲があれば、知恵に切りはない」である。

#### 参考文献

- 1) R.Linder : J.Iron Steel Inst., 189 (1958), 233.
- 2) S.Fujii, S.Tamura, K.Taguchi, K.Kunii and R.Nishida : Tetsu-to-Hagane, ISIJ, 54 (1968), 1240.
- 3) O.Saeki, I.Nishida, T.Uenaka, K.Tanaka, M.Kanemoto, T.Matsumoto, K.Taguchi and K.Aketa : Tetsu-to-Hagane, ISIJ, 62 (1976), S 429.
- 4) O.Saeki, I.Nishida, T.Uenaka, K.Tanaka, K.Ikeda, S.Inaba, K.Okimoto and I.Kobayashi : Tetsu-to-Hagane, ISIJ, 62 (1976), S 430.
- 5) O.Tsuchiya, T.Sugiyama, M.Onoda and I.Fujita : Tetsu-to-Hagane, ISIJ, 66 (1980), 1840.
- 6) 登録番号 特許1348344, 出願日 昭和54年9月3日
- 7) O.Tsuchiya, T.Doi, T.Suemitu, T.Sugiyama, M.Onoda and I.Fujita : Tetsu-to-Hagane, ISIJ, 66 (1980), S 46.
- 8) T.Uenaka, H.Miyatani, R.Hori, F.Noma, M.Shimizu, Y.Kimura and S.Inaba : The 47<sup>th</sup> Iron-making Conference of AIME Proceedings, (1988), 589.
- 9) 羽田野道春 : 叢書 鉄鋼技術の流れ 第1シリーズ 高炉製鉄法, 日本鉄鋼協会, 地人書館, (1999), 87.
- 10) T.Oyama, T.Matsuo, G.Hoshino, K.Ito, S.Kitayama and K.Kadoguchi : CAMP-ISIJ, ISIJ, 15 (2002), 129.
- 11) 石光章利 : ペレット—製鉄用ペレットの製造及び資料, たたら書房, (1977), 26.

(2002年8月26日受付)