

## 討21 焼結鉍及びペレットのこれ迄の発展経過及び今後の見通しについて

日本鋼管(株)技術研究所 ○鈴木驥一, 吉越英之

鉄鋼技術部 斎藤 汎

京浜製鉄所 斎藤正紀, 隅田昇

### 1. ペレット製造の歴史と現状

ペレットの歴史は1912年スウェーデンにはじまると云われているが、工業的な処理方法として確立したのは1942年米国においてであり、五大湖周辺の低品位タコナイト鉍の積極的利用を目的とした。しかし、その本格的な実用化は1948年以降で徐々に軌道にのり、100%ペレット操業も実施されるようになったが、何と云っても1961年アームコミドルタウンの高炉成績が喧伝されてから、俄に全世界の注目をあびる様になった。世界のペレット生産は過去10年間に1.4億屯増加し、2億屯に達したが、米国が約35%を占め、その他世界各地で生産されている。我が国では1952年川鉄千葉ではじめてペレットが生産されたが、1966年神鋼神戸、ついでに加古川、新日鉄広畑でペレット工場が稼働し、自溶性ペレットの製造を行っている。又1963年にはじめてペレットが輸入され、以来逐次増加して高炉での使用比率は約12%となっており、近い将来さらに増加するものと予想されている。ペレットの製造、使用の点から各国の状況は次のようなパターンに分類されよう。第1は米国で、ペレットは国内鉍活用政策から高炉主原料として定着している。第2はカナダ、オーストラリア、インド、南米諸国、スウェーデン等で自国の鉄鉍石資源の附加価値を高めるため、輸出用を主体にペレットを生産している。第3は日本、ヨーロッパ諸国、ソ連等の様に、従来焼結鉍を主体に高炉操業を行っていたが、ここへ来て自国でのペレット生産開始、或は資源国からの輸入の増加により、漸次ペレット使用がふえようとしている国々である。ペレットの品質に対し最も関心が深いのはこの第3のグループの様に思われる。

### 2. 我が国における焼結鉍生産の推移と高炉操業への寄与

焼結鉍の歴史は古い。かつては高炉灰や工場内発生粉の有効活用手段であったが、原料予備処理の発展とともに発生粉40%前後の焼結処理が必然となり、さらに安価な粉鉍の積極的輸入により、焼結鉍の高配合へすゝみ、併せて自溶性焼結技術の開発が行われた。第1図に見るように急速な生産量増加により1億屯/年をこえ、高炉の配合率は約70%である。戦後の日本の高炉作業成績の向上及び大型高炉の発展については過去数次に亘り発表が行われている。その共通した見解としてこれらの発展に大きく寄与した要因はこの様に良質な自溶性焼結鉍を開発し、その配合率を新鋭高炉に於ては75%以上として炉況の安定を計った事にあると考えられている。

### 3. 現状の焼結鉍に対するペレットの評価について

このように我が国においては焼結鉍を中心とした技術開発が先行し、焼結性のよい粉鉍の安価大量入手の条件にもめぐまれたため、焼結鉍高配合が定着して今日に至った。しかし、鉄鋼生産の増大に伴う輸入鉍石の多様化資源ナシ。ナリズムの高まりによる発展途上国のペレ

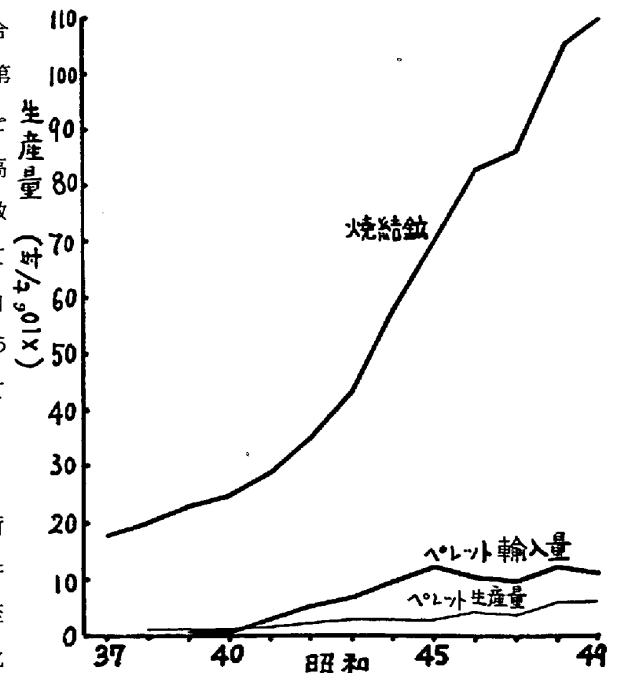


図1 我国における焼結鉍・ペレットの生産量およびペレット輸入量の推移

ト生産の増加、さらには公害対策やエネルギーコストの上昇から焼結鉱とペレットの生産コストの格差が見直されつゝある等の事情から、事態は再検討が必要となりつゝある。総合的に両者のメリット比較はいかがか。又好むと好まざるとに拘らず輸入ペレットは増加する傾向にあるが、焼結鉱との組合せの最適なパターンはいかがか。輸入ペレットに対する品質要望をいかにすべきか等非常に基本的な問題の検討、考察が必要である。なお、我が国以外にも、独、仏、英等ヨーロッパ各国は共通の問題意識をもっており、最近も、国際会議の重要テーマとして論議されているが、焼結鉱、ペレット夫々に原料事情や操業の慣習によって性状に大きな相違があり、また高炉操業の条件も一樣ではないから定量的に両者の優劣を判断する資料は得られていない。また実炉試験の結果から一般的な結論を導く事は非常に難しいと考えられる。従って目下の問題整理としては、実炉における経験を出来るだけ集約し、両者の性状の差が炉況に影響する程度をなるべく定量的に抽出すること、両者夫々のバラツキをふまえて本質的な性状の比較を行うこと、また高炉操業上或は製造上の対策により、両者の差異をカバーし得る可能性を検討すること等があげられよう。

#### 4. 焼結鉱、ペレットの比較における問題点の整理

##### 4-1. 高炉に於けるペレットの使用実績

輸入ペレットを使用しはじめた初期にマルコナペレットのスエリング問題が起り、ペレットに対する第1印象は必ずしも良くはなかった。たまたま焼結鉱についても、還元粉化現象がクローズアップされ、共に1960年代の原料関連研究課題として対策の検討も真剣に行われた。その後ペレットは試験操業も含めて各社各炉に使用され1966～68年にかけて、使用結果の発表が相つのだが、第33回製鉄部会(1968年10月)でも共通議題として「焼結鉱とペレットの比較」が論議された。

##### 4-1-1. 各社の使用実績

上記の報告は主として2000 $\text{m}^3$ 以下の小中型高炉における酸性ペレットの実績であるが、各社の評価をみる事ができ、現在でもあまり考えは変わっていないと思われる。ペレットは焼結鉱と比較すると粒度、発生粉率、圧潰強度等の冷間の性状にすぐれ、またJIS還元試験の結果も良好であるため、好成績が期待されたが、実操業では周辺流になりやすく、通気性も若干悪くなる。燃料比の改善効果としても自溶性焼結鉱と同程度かむしろやゝ劣るといふ意見が多い。しかし、少くとも技術的には多量配合が可能であることは一致している。

一方、大型高炉では炉口径も大きく、操業度も高いため、ペレットのマイナス面がつよくあらわれると予想される。世界の2000 $\text{m}^3$ 以上の高炉でも、実操業としてペレット高配合を実施しているのは、加古川、広畑、アイモイデン等で、特に高操業度で稼働している炉は少く、その点、加古川の数次にわたる操業経験の発表は誠に貴重なものである。<sup>(1)(2)(3)</sup> それ等の報告によると、ペレットの高温性状の改善のため、配合、焼成の作業管理が徹底して行われ、装入分布の対策として装入方法、およびムーバブルアーマの活用により多くの効果が収められた。最近ではさらにMgO添加による溶融帯での挙動改善や、大粒ペレット破砕品による堆積角度の焼結への近似がよい結果を収めたと報告されている。しかしながら炉下部における挙動、特に炉内圧損と還元の渋滞については、例えば気孔率が大きくなると燃料比は低下するが炉内圧損が増加する現象や、還元温度および速度によっては、メタリックシエルが成長してペレット内部に未反応部が多量に残留する等の点があげられ、ペレット高配合の問題点として提起されている。ムーバブルアーマもペレットの分布調整には必ずしも充分ではないと指摘されている。

##### 4-1-2. 当社における使用経験について

当社においては、京浜製鉄所が焼結能力不足のため、輸入ペレットを集中して使用している。鶴

見1高炉(1150<sup>m</sup>・1970年4月火入)は、70%以上のペレット高配合で操業しているが、周辺流が多く、棚、スリップを生じる限界風量値が概して低目であり酸素富化もやりにくい傾向にある。装入方法について検討したが大ベル上の堆積で、ペレットが上部に多いか下部に多いかにより炉内の堆積角が大きく異なる事が見出された。これは分布変動を生ずる大きな原因であると共に、逆にこれを利用して装入順序を工夫すれば、ある程度の分布調整が可能であることを確認し、実施している。周辺操業のため炉令の増と共に最近鉄皮亀裂を発生しており、またペレットの吸湿性のため降雨時の変動が大きいことも問題である。水江1高炉も焼結能力不足で65%前後の配合率であったが、時産を稍下げて焼結鉱品質改善を計り、同時にペレットを使用して処理鉱配合増により高生産を狙うべく、1972年10月ハマスレーペレット配合試験を実施した。ペレット30%、処理鉱配合85%迄高めて好結果を得たため、以降引つゞいてペレット使用を実施している。福山各高炉は焼結能力が充分あるのでペレットは使用していないが、将来の原料事情に対処する大型高炉試験として、1972年10月より約3ヶ月に亘り3高炉でマルコナペレット<sup>まで配合し</sup>30%、処理鉱配合85%の配合試験を行った。結果は通気性に大差なく、ガス利用率はやゝ良好の結果であったが、使用開始と同時に炉口中心温度が顕著に低下し、スリップが多少出る等、通風分布には大きな影響があることが観察された。

4-1-3. 実炉経験の総括

当社では1966年9月、当時建設予定であった福山2高炉の実寸大、1/10カット扇型模型により詳細な装入分布試験を行った。その結果、ペレット高配合の場合、焼結鉱使用時に比し、通常中心部のo/cが高くなり、周辺流になりやすいがストックライン低下時には、密度の高いペレットがコークスを中心に押し流して、逆の傾向が出ることが確認されており、また前述のようにその後の追試で、大ベル堆積中のペレット分布が大きな影響をもつことが確認されている。社内各炉の傾向が少し宛異り、また操業報告によっては、<sup>(1)(4)</sup> ペレット高配合の結果が、中心流の増加と云う正反対の報告もなされているが、<sup>コークスと</sup>比べて、マスとしての挙動に大きな差のあるペレットであるから、大量に使用する場合この様な変動は充分にあり得ることと思われる。マスとしての挙動がコークスに近い焼結を大量に使用する時の安定に比べ、ペレットの装入制御はかなり困難であり、そのためには制御手段としての装入装置と、分布検出のセンサーの確立が望まれるわけであるが、あるいは将来成型コークス特にコークペレットが実現するとこの関係は全く逆転する場合も考えられ興味深い問題である。しかし、定量的に操業成績の差と云うことでは第2図に見る様に必ずしも明確ではなくただ多少操業がやりにくく、炉体保持上も問題が出やすいと云うのが焼結に比較したペレットの一般的な評価であろう。

4-2. 粒子としての性状相異のまとめ

焼結鉱とペレットの粒子としての性状に関しては多くの研究があり、すぐれた総説も提出されて<sup>(5)(6)</sup>、両者の相違がかなり明かにされつゝある。酸性ペレットはヘマトイト結合を主とするが塩基度の上昇と共にシリケートスラグ結合、さらにカルシウムフェライト結合

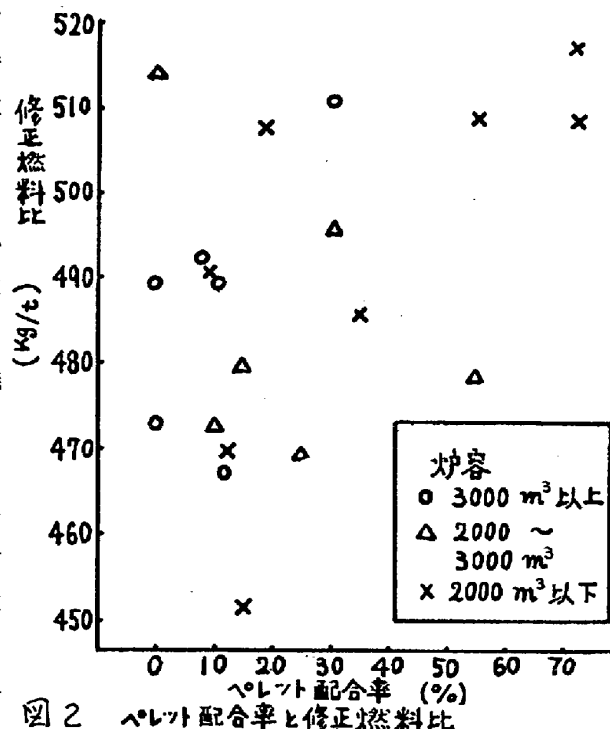


図2 ペレット配合率と修正燃料比

へと変化する。焼結鉱も塩基度とともにシリケートスラグ結合からカルシウムフェライト結合に変化する。ただペレットの場合は構成粒子が微細で均一組織であり、焼結鉱とは生成相の特性の現れ方に差があると考えられる。

4-2-1. 還元過程における粉化現象

自溶性焼結鉱を 400 ~ 600℃ の範囲で CO 還元すると粉化を生ずることが一般に認められている。粉化は Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> から Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> の段階で認められるため、一般的に結晶変態に伴う体積変化が原因と考えられているが水素還元では著しい粉化の生じない

ことや、ヘマタイトの形態による相違、還元速度の影響等不明な点も多く残されている。<sup>(7)(8)(9)</sup> しながらこれを抑制する対策の検討が先行しており、<sup>(8)</sup> スラグ量増加、塩基度の選択、粉コークス原単位増および原料中の Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の抑制<sup>(10)</sup> 等有効な対策

がとられ、実用的には問題は略解決している。ペレットについては酸性ペレットは 900℃ 附近でスウェリングを起して粉化する。この場合も CO 還元において現象が著しいが、水素還元ではわずかである。

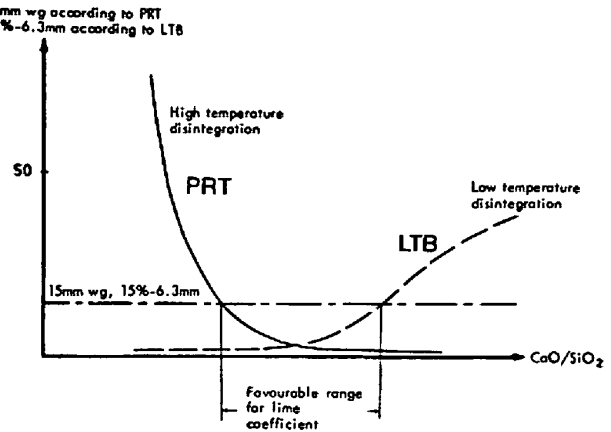
原因としては、(1)還元初期の Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> から Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> への結晶変態に伴う粒子間結合の弱体化、(2)これと平行した相間の熱膨脹差 (3) FeO から Fe への過程で生成するウイスキー等があげられており、アルカリがスウェリングを促進する可能性も報告されている。<sup>(12)</sup> またスウェリングも還元ガス流速が小で還元ポテンシャルの低いほど<sup>(13)</sup> 進行しやすく、還元速度と密接な関係がある。一般的に塩基度の増加によりスウェリングは改善されるが高塩基度では自溶性焼結のような 500℃ 附近の還元粉化が

起り従って粉化を少なくする適正な塩基度範囲の存在する事が云われている。<sup>(13)(19)</sup> (第3図) その他、スラグ成分の増加、および高温焼成も有効であり実施されている。<sup>(7)(14)</sup>

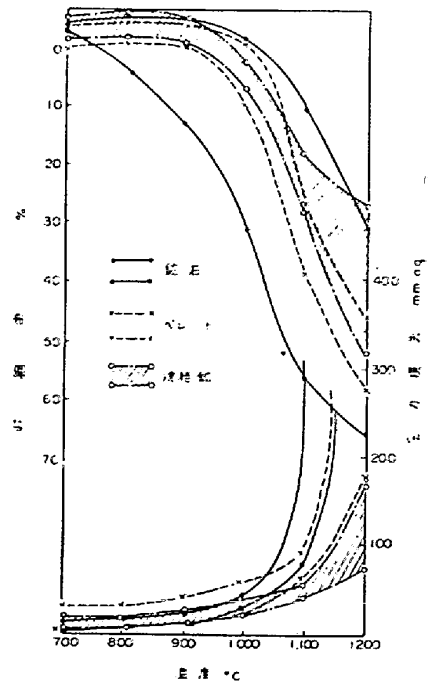
4-2-2. 充填層の通気性と収縮性

焼結鉱およびペレットについて荷重還元した場合の収縮とそれに伴う通気度の変化が研究されている。実験結果によると酸性ペレットは単味では 1100℃ で顕著な収縮を生じ圧力損失が増大する。これに対して自溶性焼結は収縮率および圧損共、高温側に移行し、<sup>(15)</sup> 高塩基度ペレットも同様の傾向にあることが報告されている。(第4図) 自溶性焼結と酸性ペレットを配合する場合にはペレット増に伴って収縮圧損共低温側に移行するが<sup>(15)</sup> 層状装入よりも混合装入した方が圧損の増加が少いと云われている。

<sup>(16)</sup> またアルカリはペレットの軟化開始温度を低下させる。一方荷重還元の場合においては、粉化率、回転強度共酸性ペレットの方がよいと云う報告もある



第3図 ペレット塩基度の還元粉化性に及ぼす影響



第4図 焼結鉱・ペレット・鉱石間の軟化特性の比較

(9) 荷重還元試験で圧損の小さいペレットは高炉成績もよく、圧損が大きいと悪いと報告されているが、<sup>(18)</sup> <sup>(3)</sup> 軟化特性は銘柄毎の差の他に、還元度による影響も大きく、従って実炉の熔融帯における性状を考察する場合には、還元の進行および外力による破碎等の炉内における挙動との関連で検討することが必要と思われる。

#### 4-2-3. 熔融滴下に関する性状

さらに高温になって熔融滴下する場合の性状も、研究されている。理論的には軟化開始温度および脈石の熔融滴下温度が出来るだけメタルのそれに近接すれば圧損の大きい層を狭めることになるので望ましい。焼結鉱もペレットも塩基度の増により改善されるが、一方滴下開始温度は<sup>(18)</sup>還元度即ち二価鉄の挙動とも密接な関連があるので、これについても上記と同じ様に還元過程と併せ考察することが必要である。

#### 4-2-4. 還元性について

還元性は、それ自身重要な因子であると共に軟化性状、熔融滴下温度とも関連する。1200℃以下の還元性はペレットの方が良好であるが1250℃以上になるとメタリックシエルの生成により還元停滞が生じることが報告されている。<sup>(3)</sup> ソリューションロスの増大には直接関係のない領域であるが、熔融帯における挙動や温度分布に対する影響は未知数であり、従来のJIS法還元試験の結果による評価の妥当性に対する一つの問題提起である。

この様に自溶性焼結、酸性ペレット、塩基性ペレットそれぞれに粉化、還元、軟化、熔融滴下の各挙動に関して特徴のある現象が見出されており、炉内状況を考察する上で重要な項目である。しかしまた銘柄と温度以外に、還元速度あるいは還元度にも大きく影響される複雑な現象でもある。従来、銘柄間の差を一定条件下で検出する試験が行われて来たが、ここに今一步すすんで、いかなる条件でいかなる現象が生ずるかさらに詳しく解明することが必要であろうと思われる。高炉の炉内条件を一義的に決定することは困難であるが、変化の範囲を推定することは可能であるから、条件の変化と現象の生起とを併せ考察すれば炉内で生じ得る現象が明かになり炉況制御に対する有力な指針が得られるものと期待される。

#### 4-3. ペレットの炉内におけるマスとしての挙動

以上に述べた様な粒子個々の性状の認識の他に、炉内におけるペレットのマスとしての挙動が焼結のそれといかに異なるかを知る必要がある。炉口部における装入分布の傾向については既に述べた通りである。最近の解体報告によれば、炉況が安定している場合、装入物は熔融滴下迄層状が明確に保たれており、その各層において熔融帯から低温域迄が径方向に分布していると考えられる。サーマルリザーブゾーンの存在等により特に酸性ペレットは厳しい粉化条件にさらされるが、その粉化現象が通気性の分布にいかに関与するか、またペレット特有の球状が、層形成の安定度に物理的にいかに関与するかは未知数で、ペレット高配合高炉の解体調査による解明にまたなくてはならない。また、酸性ペレット高配合、あるいは自溶性焼結との混合使用において、軟化熔融性状の差が熔融帯の分布、あるいはその安定度にいかに関与するかも同様に解体調査の結果に期待する所が大きい。

#### 5. 焼結鉱とペレットの比較における問題点の総括

以上のべたことをとりまとめてみると、ペレット高配合の高炉は、焼結鉱主体の高炉に比べて数は少いが概して操業しにくいと云われ、通気性やこれに起因する炉壁の損傷に問題がある。原因は大きく2つに分類される。その1つは、ペレットとコークスの堆積角の大きな差から来る分布の変化である。対策が種々検討されており、近い将来、炉内分布計測の精密化により最適分布を検出、維持することは可能であると思われる。あるいは成型コークス、特にコークペレットの実現した場合、この状況は大きく

変化するものと思われる。第2には、粉化あるいは熔融帯の不安定といったペレット性状の問題であり、CaO, MgOの添加を主とする改質でかなり成果を収めたが、なお、問題点が残っており、ペレット高配合高炉の解体調査が期待される。装入分布の調整や、ジャンボペレットの破碎等の手段によって形状に起因する炉内分布の影響を消去した場合、これらの要因の操業成績に対する影響がどの位残るものか早晚確認されるであろうし、その時点で焼結ペレット比較論争に決着がつくと期待される所である。

- 関係文献：
- (1) O. SAHEKI : AIME IRON MAKING CONFERENCE. CHICAGO, APRIL(1972)
  - (2) K. TAGUCHI 他 : JOURNÉES INTERNATIONALES DE SIDÉRURGIE. PARIS, OCTOBRE(1975)
  - (3) 討論会「装入物性状と高炉操業」 鉄と鋼, 59(1973)2, 73-A5, (討論Ⅱ)
  - (4) N. N. BABARYKIN 他 : USE OF FLUXED PELLETS IN BLAST FURNACE OPERATION. IRON MAKING AUGUST(1970)P584
  - (5) 成田, 前川 : 鉄と鋼, 59(1973), P318
  - (6) 大森 : 第33回西山記念技術講座「塊成鉄の高温性状」昭50年6月
  - (7) 討論会「結ペレットの高温性状」 鉄と鋼, 57(1971), S.243 ~ 257
  - (8) " 「結鉄の還元時(特に低温域)に於ける挙動」 鉄と鋼, 52(1966), P488 ~ 504
  - (9) " 「結鉄・ペレットの高温性状」 鉄と鋼, 54(1968), S.275 ~ 279
  - (10) " 「装入物性状と高炉操業」 鉄と鋼, 59(1973)2, 73-A1. (討論Ⅰ)
  - (11) R. ANDO, Y. YAMAOKA 他 : ISIJ, 14(1974), P.185
  - (12) H. ENDE, 他 : Stahl Eisen, 90(1970), P.667
  - (13) G. THANING : 鉄と鋼, 60(1974) S.684
  - (14) 藤井, 田村, 田口他 : 自溶性ペレットの製造ならびに高炉使用について, R&D Vol.19, No.2. P10.
  - (15) 嶋田 : 学振54委 資料1339(昭50.2月)
  - (16) E. FÖRSTER 他 : STAHL EISEN, 89(1969), P.1473
  - (17) O. BURGHARDT. 他 : ibid, 89(1969), P.561
  - (18) 斧, 肥田, 重見, 児玉 : 鉄と鋼, 61(1975)6. P.777
  - (19) H. Kortmann, O. Burghardt : Aufbereitungs-Technik, (1973), P.803