

## 討 2

### コールドペレットの連続急速養生プロセスの開発

日本鋼管(株)中央研究所 ○吉越英之 田島 治 宮下恒雄 山上正明

プラント計画設計部 中山道夫 新潟電気製鉄所 小野寺 明

製鉄エンジニアリング部 松井正治

#### I 緒 言

微粉鉱石類を安価に、二次公害を発生せずに塊成化して高炉または電気炉の原料とする要求が高まっている。これに対応して著者らは工場内で発生するダスト類および微粉鉱石を水和結合剤で連続的に塊成化するプロセス<sup>1)</sup>、およびシリコマンガ電気炉原料に非焼成塊成法の特徴を利用して、炭材内装複合コールドペレットを炭酸化結合剤で製造するプロセスの開発<sup>2)</sup>について報告した。ここでは基礎研究における連続急速養生条件をもとに実用炉における養生方式の選択、スケールアップの考え方、パイロットプラント操業結果と基礎実験との対応について、微粉鉱石によるコールドペレットと炭材内装複合コールドペレットを例に述べ、さらに100トン/日プラントの建設に至る過程を報告する。

#### II 微粉鉱石のセメントによるコールドペレット

II-1 基礎実験における連続急速養生条件の確立：養生試験に用いた原料はポルトランドセメント10%と微粉鉱石90%である。養生条件の設定にはFig.1の装置を用い、種々の温度の湿ガスによりセメントの水和に必要な水分と熱を水蒸気の凝縮を利用して供給した。

セメントの強度発現は蒸気温度が高い方が早い<sup>1)</sup>、急激に加熱するとペレットの崩壊を生ずるので、これを回避するためグリーンペレットの予備乾燥を行なった後に水蒸気処理を行ない、さらに強度向上を目的に乾燥処理をした結果の1例をFig.2に示した。乾燥工程において炭酸化乾燥することにより空気乾燥より強度向上が認められた。この結果から約10時間で急速に強度発現することが明らかになったので、これをもとにパイロットプラントの設計を行なった。

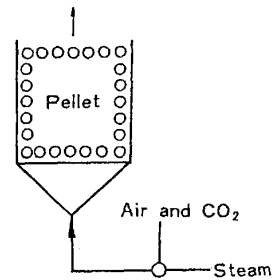


Fig.1 Curing apparatus in laboratory

#### II-2 パイロットプラントの設計, 建設, 操業

Table 1 Estimation of equipment for steaming curing

	Movement of pellet	Flow of gas	Mechanism of heat transfer	Rate of heat transfer	Possibility of multi-stage heating	Cost of equipment	Sticking of pellet	Total merit	Remarks
Vertical shaft	slight	in bed	convection	large	possible	small	not occur	O	required smooth descending of pellets
Traveling grate	not occur	in bed	convection	large	possible	big	occur	Δ	
Fluidized bed	severe	in bed	convection	large	possible	small	not occur	X	
Rotary kiln type	severe	bed surface	convection & pellets movement	middle	not possible	middle	not occur	X	Colapse of pellets in small cold model test
Tunnel kiln type	not occur	bed surface	conduction in bed	small	possible	big	occur	X	
Chamber type	not occur	out side of wall	conduction between wall & pellets	small	not possible	big	occur	X	

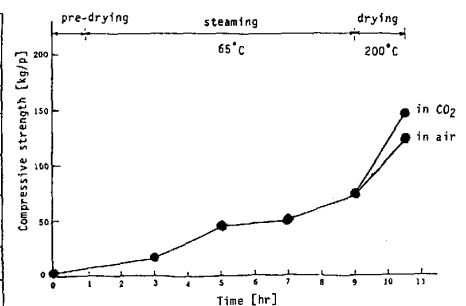


Fig.2 An example of strength development of pellet

1) 設計方針：パイロットプラントの設計に当っては次の条件を前提とした。a)10時間程度の連続養生設備、b)省エネルギー型のプロセスとするため各処理は次の条件を満たす。1)予備乾燥には工場排熱を利用する、2)水蒸気養生には工場排熱回収による低圧蒸気を利用し、50~100°Cの温度制御が可能な凝縮加熱による、3)炭酸化乾燥には工場排ガス中の排熱とCO<sub>2</sub>を利用し、150°~250°Cに制御する、4)成品排出時に大気冷却する。

まず、水蒸気処理の設備型式について検討した結果をTable 1に示す。その結果シャフト炉を最良と判断した。水蒸気含有ガスの流し方には向流、並流、十字流の三方式が考えられるが、向流式は水の蒸

発と凝縮の循環が起り、低温部に凝縮帯を形成する点、および並流式はヒートパターンの制御上、設備が複雑となるため十字流方式を採用し、ヒートパターン制御には水蒸気分圧の異なるガスを吹込むことによる多段十字流シャフト炉とすることにした。湿ガスの吹込みは左右交互に切換えることにより、品質のバラツキへの影響を少なくするように考慮した。

2) 1000トン/日プラントの概念設計およびパイロットプラントの設計、建設

コールドペレットの製造量は日産1000トン  
を原型と考え、炉内滞留時間として第1シャフト炉(予備乾燥+スチーム処理)を10時間、第2シャフト炉(乾燥+冷却)を2時間としての設備の寸法と、原料ビンから製品までのプロセスフローをFig.3に示した。

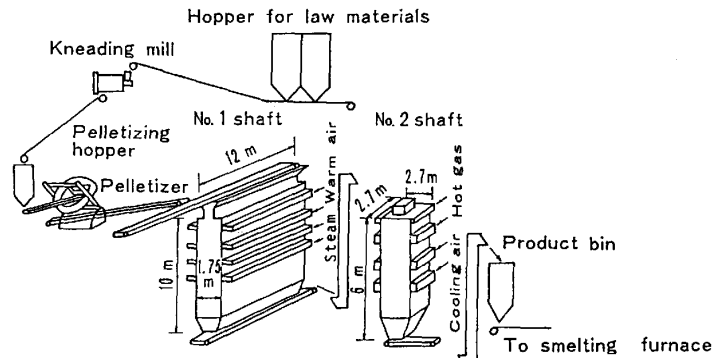


Fig.3 Hypothetical 1000t/d plant

このプラントの最も重要な点は、ペレット降下時のペレット粉化の回避と湿ガスの流れ方向における均一な養生であり、パイロットプラントの設計に当っては、原型炉の本質をなるべく損なわないように、第1シャフト炉の炉高を3/10に、炉巾(ガス流れ方向)を1/2に、炉長を1/24にスケールダウンして、日産6.5トンのプラントとした。水蒸気含有ガスの流速は、各養生段におけるペレットの滞留時間と次の理論式から求まる凝縮加熱のヒートフロント速度Vとのバランスから所定養生時間となるように定めた。

$$V = \frac{\rho_{H_2O} \Delta H_{ev}(y_1 - y_2) u}{\rho_s C_s (1 - \epsilon)(t_1 - t_2)}$$

ここで、 $\rho_{H_2O}$ :水の密度、  
 $\Delta H_{ev}$ :水の蒸発潜熱、 $y_1, y_2$ :  
 $t_1, t_2$ における飽和水蒸気濃度、  
 $u$ :ガスの空塔流速、 $\rho_s$ :粒子の密度、 $C_s$ :粒子の比熱、 $\epsilon$ :  
空隙率、 $t_1, t_2$ :ガスの入口、  
出口温度。

3) パイロットプラントの操業結果

操業に用いた配合原料はTable 1と同じである。操業推移

図をFig.4に示す。操業前半期は乾燥処理を200℃の空気で行ない、後半期は製鉄所排ガス(一般にCO<sub>2</sub>:10~25%)利用を想定して、CO<sub>2</sub>:15%で炭酸化乾燥を行なった。成品強度は空気乾燥で約160kg/P、炭酸化乾燥で約180kg/Pとなり炭酸化の有効性が実験室結果と同様に確認された。

同一原料条件でパイロットと実験室で養生して得られた強度発現推移を比較するとFig.5のごとく、両者は良い一致を示しており、実験室試験からパイロットの成品強度を推定することが可能である。また

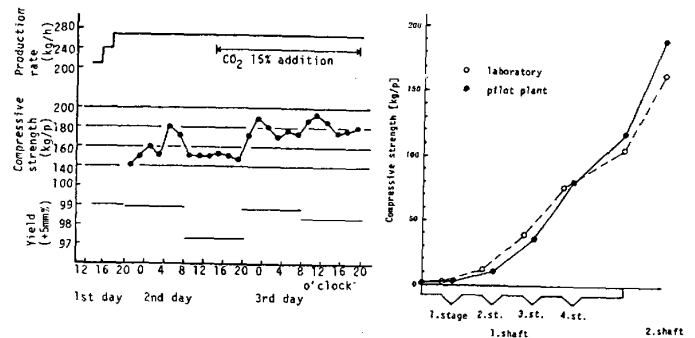


Fig.4 Operation transition for ore pellet in pilot plant

Fig.5 Comparison of strength development between laboratory and pilot plant test(ore pellet)

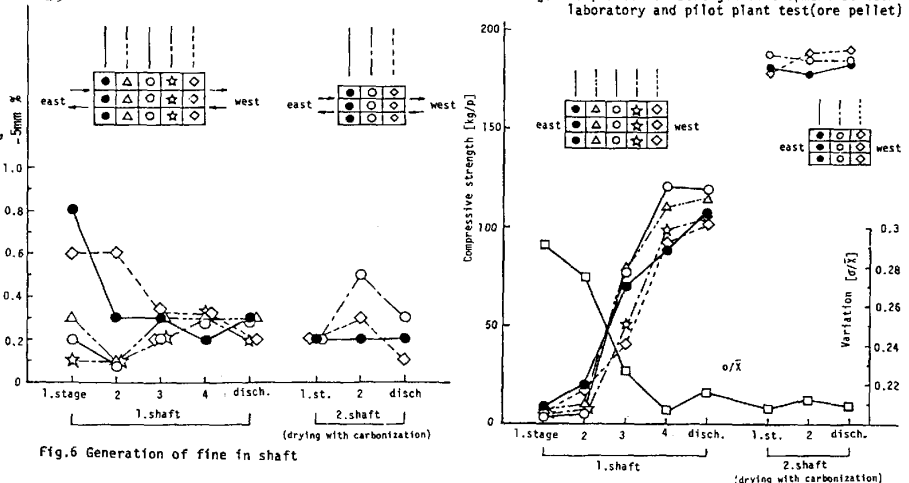


Fig.6 Generation of fine in shaft

Fig.7 Strength development and variation in shaft

炉内での粉化およびペレット強度のバラツキはそれぞれFig.6, Fig.7に示すように極めて小さく、粉化の抑制および均一養生が為されたことを示している。得られた成品の物理性状も高炉原料と比較するものであった。<sup>1)</sup>

### Ⅲ 炭酸化結合剤による炭材内装複合コールドペレット

Ⅲ-1 基礎実験における養生条件の確立およびパイロットプラント操業：シリコマンガンの製造においてはMn源としてフェロマンガンスラグ（以下、FMnスラグ）を用いているが、著者らはこれがCO<sub>2</sub>との反応により結合作用を生ずることを明らかにした。<sup>2)</sup>そこでFMnスラグを結合剤とし、電気炉の装入比に合わせて原料を配合してペレット原料とした（Table 2）。

MATERIALS	MIXING RATIO
MANGANESE ORE	63 %
IRON ORE	10 %
FINE COKE	15 %
FERRO-MANGANESE SLAG	12 %

炭酸化反応にはCO<sub>2</sub>以外に水分の存在が必要であり<sup>3)</sup>、また反応を促進するために、熱の供給が必要である。そこで、Fig.2の装置による凝縮加熱法を応用し、CO<sub>2</sub>含有ガスに水蒸気を添加した混合ガスをペレット層に流してこのガスを熱供給媒体として必要熱と水分を同時に供給するとともに炭酸化を行なわせた。この場合も炭酸化養生に先立って予備乾燥を、また炭酸化処理後も大気乾燥を行なった。

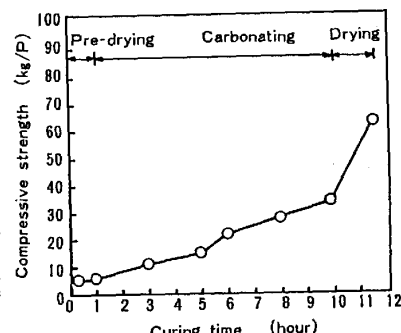


Fig.8に強度発現推移の1例を示した。炭酸化処理には、合金鉄電気炉の排ガス利用を想定してCO<sub>2</sub>:30%、水蒸気:25%、空気:45%の混合ガスを用いた。約10時間の処理で成品強度は約70kg/Pに達しており、電気炉での使用に耐える40kg/Pを十分に満足した。そこで前述のパイロットプラントの水蒸気養生段にCO<sub>2</sub>含有ガスを流して炭酸化処理を行ない、予備乾燥および空気乾燥はセメントによるコールドペレットと同一条件で行なった。

Fig.8 An example of strength development of composite cold pellet

炭酸化養生段に流すガス量の設定は、各段における滞留時間と凝縮加熱によるヒートフロント速度から求めるとともに、単一球の境膜内ガス拡散速度をRanz-Marshallの式<sup>4)</sup>から求め、拡散速度より流速が十分に大きい条件で行なった。生産量は、ペレットの嵩密度から炉内滞留量を算定し、日産6トン（時産250kg）で行なった。原料の配合はTable2と同じである。操業の推移図をFig.9に示す。すなわち、成品強度の平均値は50kg/Pであり、炉内発生粉率も3.7%と小さく順調に推移した。

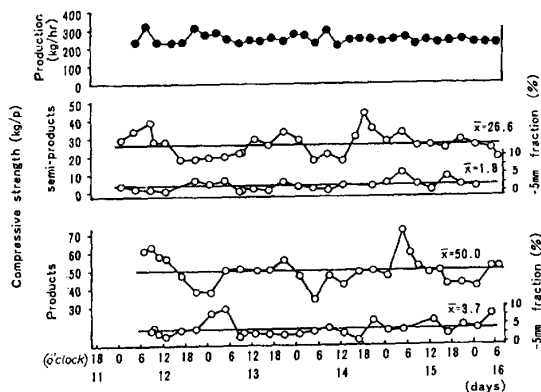


Fig.9 Operation transition for composite cold pellet in pilot plant

同一原料を用いてパイロットと実験室で養生処理した結果も両者の強度発現はFig.10に示すごとく良く一致しており、実験室試験からパイロットの結果の類推が可能である。成品の物理性状はMn塊鉱に比べて著しく改善され、さらにシリコマンガンの製造試験において製造電力原単位の低減、還元剤として安価な粉コークスの利用など<sup>3)</sup>、技術的、経済的優位性が証明されたので日産100トンの実用プラントの建設を行なうこととした。

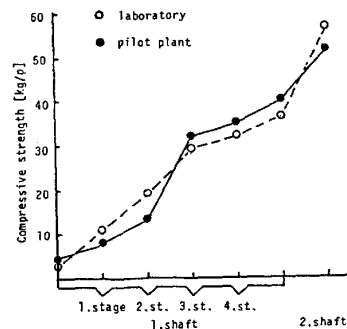


Fig.10 Comparison of strength development between laboratory and pilot plant test (composite cold pellet)

Ⅲ-2 100トン/日実用炉の設計、建設：実用炉の寸法は原料ペレットの嵩密度と滞留時間から算定し、1000トンプラントの概念設計をもとに求めた。配合原料から成品までのプロセスフロー、炉体寸法をFig.11

に示す。予備乾燥，炭酸化，乾燥の各処理には合金鉄電気炉ガスを燃焼させたガスを使用し，追加燃料は用いないこととした。すなわち，電気炉ガスの燃焼後のガスは20%以上のCO<sub>2</sub>を含有し，さらに高温であるため乾燥処理に用いた。乾燥後のガスは多量的水分とCO<sub>2</sub>を含んでいるため，炭酸化処理に必要な温度と平衡する水蒸気分圧となるようにガス中水分を冷却除去し，炭酸化養生段に吹込む。一方，予備乾燥には成品の冷却に用いた温風を予備乾燥処理に用いることにより，追加燃料は不要となる。

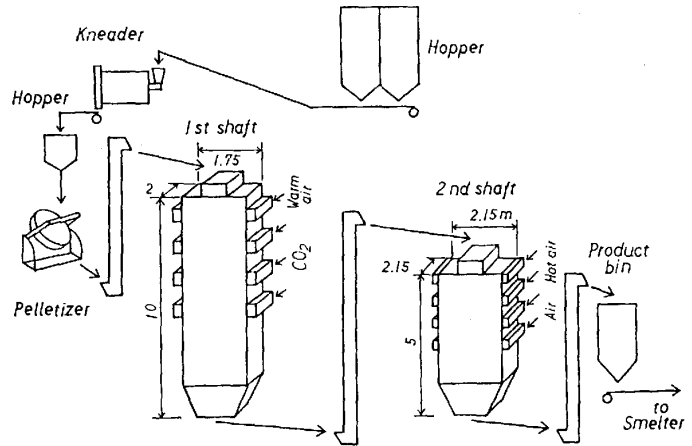


Fig.11 Concept of 100 ton/day commercial plant

炉内への各養生段からのガス吹込み方法は，ガス吹込み方向でのガス流分布をシミュレーションモデルで推定し，予備乾燥段と炭酸化養生段，および乾燥段と冷却段のそれぞれが分離できるようなガス吹込み方法，吹込み設備を選定した。建設した100トン/日実用炉を写真1に示す。5月現在，当初の計画通りに，熱源および養生ガスとして電気炉排ガスを利用して，成品強度が約70kg/Pの成品を日産100トンの割合で生産している。

IV 結 言

基礎実験から得られたコールドペレットの強度発現可能な養生パターンから実用炉の設計を目的にプラント型式を選定し，日産1000トンプラントの概念設計を行なった。さらに，パイロットプラント試験結果により基礎実験結果を確性するとともに，日産100トンのシリコマンガン製造用の炭材内装複合コールドペレット製造プラントを設計，建設した。その結果，電気炉用原料として優れた性状のコールドペレットを当初計画通りに100トン/日の生産量で稼動中である。

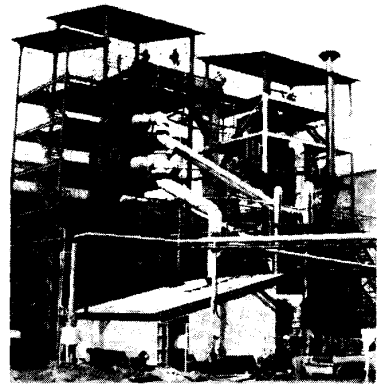


Photo 1 100 ton/day commercial plant

<参考文献>

- 1) 宮下恒雄，吉越英之，松井正治，田島 治，福与 寛：鉄と鋼，69(1983)16，1974
- 2) Hideyuki Yoshikoshi, Osamu Takeuchi, Tsuneo Miyashita, Takeshi Kuwana and Kazuo Kishikawa：Trans ISIJ, 24(1984)6 に掲載予定
- 3) Gmelin Handbuch der Anorganischen Chemie, Calcium, Teil B, (1961), P.862 [Verlag Chemie GmbH]
- 4) R.B.Bird, W.E.Stewart, E.N.Lightfoot：Transport Phenomena, (1960), P.647 [John Wiley and Sons Inc.]