

— 服部賞受賞記念論文 —

製鉄技術の進歩と将来の展望*

辻 畑 敬 治**

1. 緒 言

最近の製鉄技術は高炉装入原料の整粒強化、焼結設備の大型化、高能率化による良質な焼結鉄の製造と使用、塊成原料の使用、高温送風、複合送風、高圧操業、操業の自動化、などの技術確立によつて飛躍的な進歩を示し生産性はいちぢるしく向上して、コークス比も他国の追従を許さない優秀な水準に達している。ちなみにわが国の鉄生産量をみると図1、に示すごとく、年々、増加の一途をたどり、1964年における鉄生産量は2,320万tとなつている。また、焼結鉄の生産量も鉄生産量に比例して、増加し、同様1964年の生産量は2,100万tとなつている。

コークス比についても、年々、低下し1964年の全国平均は約500kgであり、1965年の全国平均は400kg台をマークするものと思われる。これらはわが国の技術水準の高さを示すと同時に生産費の低下に大きく寄与していることがうかがえる。今後、これらの技術を基盤として製鉄技術はさらに飛躍的な進歩を遂げることであろうが、新しく注目されるものとして、現在の花形である計算機を駆使しての最適化制御による高能率操業、さらには還元鉄を低コストで製造するための研究、およびその使用による高生産性操業、などがあげられる。本論文では以上の諸技術と将来について簡単に展望してみることとした。

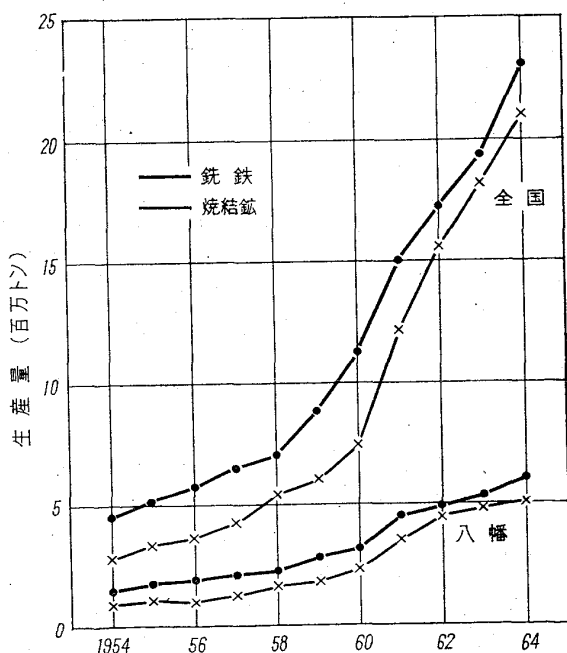


図1 鉄および焼結鉄の生産量

2. 原料予備処理技術の進歩、改善と将来について

過去10年間をふりかえつてみると、原料処理技術の中でもつとも飛躍的な発展をとげたものは焼結プロセスであろう。もつとも、原料の整粒を強化するための破砕、および篩分けシステムの改善強化、装入鉄石のブレンディング、などでの技術改善も見逃せないものがある。また、最近においてはペレット、ブリケット、などの塊成化原料が注目され、すでに使用されて優秀な成績をあげている高炉もあつて、将来の高炉原料として重要な地位を占めることであろう。さらには、これらを還元して高炉に装入する研究も注目されることであろうが、この問題は技術的な研究もさることながら、製造コスト面での問題があり、焦点はこれらにしばられることとなるであろう。

2.1 焼結プロセスの進歩と将来

昭和28年、八幡洞岡に戦後初めての新型DL焼結設備が設置されてから、高生産性が認められ、以後、各社で建設されたが、この焼結設備には種々の制御機構が盛り込まれ、とくに総括制御方式を全面的に採用し、人員の節減が計られた。また、この設備では自動制御装置の開発が手がけられ、以後、建設されるものの範となつた。

昭和35年頃からは大型焼結設備の建設が着々と進められ100m²以上の有効面積をもつ焼結機があいついで出現し、最近では200m²に近い大型機(東海製鉄の182m²焼結機がわが国では最大である)が出現するに至つた。このようにして各社で増強を計つた結果、焼結比は上昇し、60%台となつている。焼結設備における今後の重要な開発テーマは次のごとく要約されるであろう。すなわち、

2.1.1 最適な配合原料水分を維持するための水分自動制御装置の完成と完全稼動

八幡における配合原料水分の連続測定に関する研究は昭和34年から日立製作所と共同研究を実施し、中性子水分計を開発し、昭和36年に洞岡No.1焼結機に設備している。以後、中性子水分計の利用は脚光を浴び、各社共、設備するようになった。中性子水分計には挿入型と表面型があり、種々の利欠点をもつているが表面型が最近になつて脚光を浴びつつある。米国のYoungstown Sheet and Tube Co., において図2に示すような装置により添加水分の自動制御に成功し、長期間にわたつてトラブルなく稼動していると報告されている。

* 昭和41年4月5日東京大学において講演
昭和41年5月2日受付

** 八幡製鉄株式会社取締役 工博

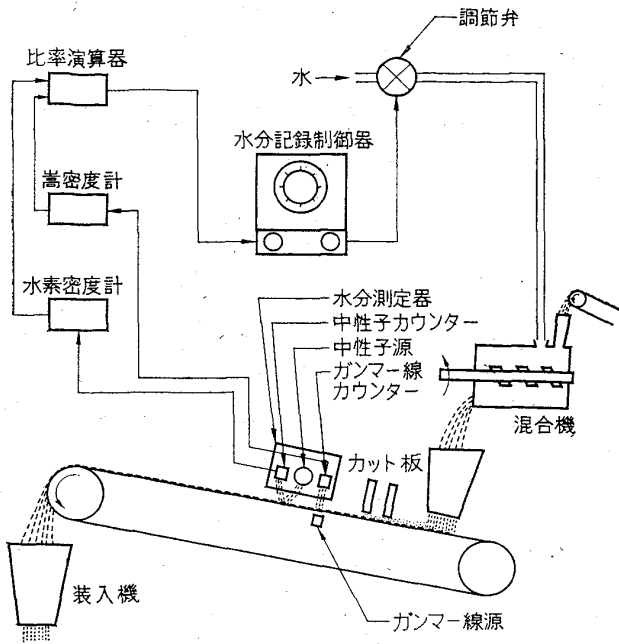


図2 焼結原料水分制御系統図

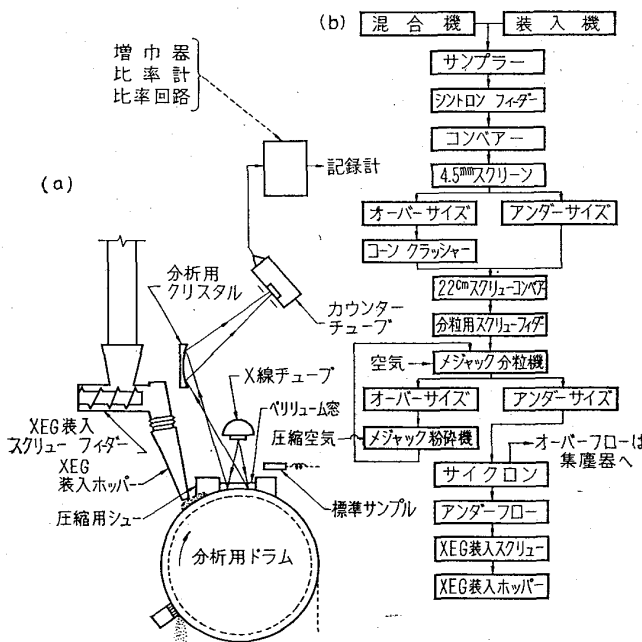


図3 XEG検出部およびサンプリング方法

この装置ではγ線による嵩密度補正を自動的に行なっており、測定の精度をあげることに努めている。この測定装置はわが国で唯一の八幡洞岡に設置された表面型と同一である。

2.1.2 焼結原料成分の自動分析および自動制御

米国では数年前から研究開発が進められ、自動分析については実用の段階にはいつているものがある。検出端としては数年前にGeneral Electric社で開発したX-Ray Emission Gaugeがあり、このGaugeが上記工場にも採用されている。この装置は図3-aに示すようなものでFe、Al₂O₃、CaO、SiO₂を連続的に分析している。

分析装置までの処理工程は図3-bに示されるように

相当複雑であり、サンプルは破砕機によつて微粉碎されている。近い将来にはわが国でもSi、Ca、Fe、程度は自動分析して管理されることになるであろう。とくに最近のように高塩基度焼結鉱が生産されるようになるとその必要性は強く要請されるものであつて重要な開発課題と考えられる。

2.1.3 焼結完了点の最適制御

現在の制御方式ではまだ問題が多く、今後は最高温度があつねに設定温度に合致するような制御が必要になるであろう。そのためには使用原料の性状に見合った最適層厚の制御、最適な燃料の添加制御、前述した最適水分の制御、などが必要になつてくるであろう。このような厳密な制御を実施する段階になると計算機制御が台頭してくることが予想される。

2.1.4 計算機制御

最近、計算機制御が各産業で導入され効果をあげているため、ほとんどその使用目的なり、効果なりを十分検討しないで導入する例があり、問題だと考えている。計算機を導入したとしても、データロギングや簡単な配合計算を代行させる程度では数千万円の計算機は十分な効果を発揮しえないであろう。すなわち、焼結技術上で可能な管理限界の見極めと高炉にもたらす利益、効果、などについて投資額との兼合いを十分検討して、計算機導入の可否を決めるべきであり、いたずらに導入することはさけないものである。

2.2 装入物の整粒とブレンディング

装入物の整粒がいちぢるしく高炉の生産性をあげることは古くから論じられ、1957年にはT. L. JOSEPHなどによつて理論的にその効果が裏付けられている。また実際の高炉においてもガス向流中での装入物還元については種々の実験があるが、いずれも整粒の効果が大きいことを示唆している。わが国における鉱石処理設備は本格的なものが昭和28年富士広畑に設置され、以後各社共その増強なり新設を行なつたが、最近における整粒鉱石は徹底的な破砕篩分けを行なつて大塊と粉鉱の完全な除去を行なつている。整粒鉱石の効果については各社で確められ種々の論文が発表されている現状であるが、八幡東田の炉内容積518m³、炉床径5.6mのNo.3高炉において行なつた試験結果によると焼結鉱50%、10~25mm整粒鉱50%を使用して炉内における熱交換、還元反応の進行速度、ガス灰発生量、などを平常操業時と同一レベルに保ちつつ増風した結果、出鉄比は約2.0を記録し、さらにコークス比も低下している。また、ベルギーのCNRMで実験した増産試験では小型低炉ではあるものの、内容積22m³の炉で通常操業において138t/dayを記録している。この操業では酸素を46~48%に富化し、添加燃料は約150kg/t-pig吹込んでいる。そのためコークス比も535kgとなつている。ここで重要なことは装入物の整粒であり、この試験では全量焼結鉱装入であつたがその粒子は5~25mmに完全に整粒され、コークスも10~25mmに完全に整粒している。鉱石整粒のための破砕、篩分け設備の代表的な例を図4に示した。

この設備は10~25mmの整粒鉱石を高炉向けに、10mm以下を焼結向けに破砕、篩分けるものである。今後

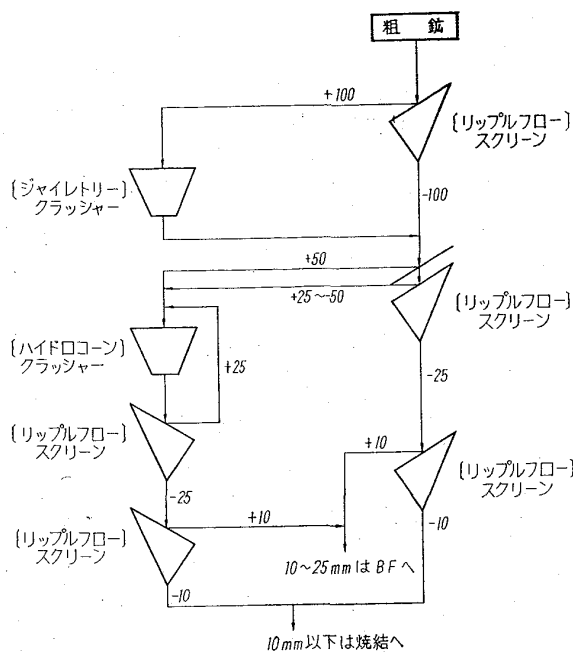


図 4 鉱石整粒のフローシート

問題として残されるのは粘性鉱石であり、この篩分けにはどの社も苦慮しているところである。

ブレンディング法としては世界各国でもつとも普及している Hewitt-Robins 社製のスタッカーとリクレーマーの組合せ法が一般的に知られている。この方式は非常に良い方式であるが問題は設備費が高価であること、さらには莫大な敷地面積を要することなどである。西ドイツのある会社において稼動中のリクレーマーは大巾で高く積んだ鉱石を1本のプラウでうまくブレンディングしながら効率よく処理していたが興味ある方法といえる。

わが国においてオアベッディング法を採用しているのは八幡戸畑、川鉄千葉、富士広畑、である。オアベッディングの効果は一般的に多銘柄のものを均一に十分ブレンディングした状態で使用可能なため、一定した品質のものが供給され、操業、品質の安定化に寄与する。

2.3 自溶性焼結鉄の製造と使用

自溶性焼結鉄の製造に関する研究は古くから世界各国において行われていたが、実規模の炉において多量使用し、効果を確認して、世界に先鞭をつけたのはわが国であつたといえる。わが国では昭和 33 年頃から各社で自溶性焼結鉄の多量装入試験 (80%~100%) が実施され、その有利性が認められて今日に至っている。自溶性焼結鉄は周知のごとく還元性の悪い Fayalite (2FeO·SiO₂) の生成を還元性の良い Calcium-Ferite (n·CaO·Fe₂O₃) によつて抑制し、被還元性焼結鉄の製造を容易にし、さらには高炉内で起こる石灰石の分解に要する高価なコークスの節約に役立ち、間接還元を盛んにし、ソリューションロスの減少に寄与している。これらは種々の実験操業によつて定量的に焼結比が1%増減することによつてコークス比は 0.85~1.0 kg/t pig の増減になるとされ、生産量も 0.17~0.20% 増減するとされている。最近では高塩基度焼結鉄の製造により、さらに高効率な高炉操業がねらわれ、その研究が進められて CaO/

SiO₂ で 1.8~2.4 と高い塩基度の焼結鉄が製造され、使用されるようになった。このような傾向からキメの細かい塩基度管理が重要となり、前述のごとき、成分の自動分析、さらには自動制御が必須のものとなる傾向にある。焼結鉄製造上におよぼす高塩基度の影響は1.5~2.6 までは生産増加の傾向にあり、強度についてもほとんど差は認められず、さらに焼結操業ではほとんど燃料原単位が上昇しないという面白い結果がでている。

2.4 ペレットの動向

ペレットの歴史は古く 1913 年にスウェーデンで A. G. ANDERSON がその製造に関する研究を行なつている。本格的にペレットが重要視され商業規模で発達したのはアメリカ、カナダであり、とくにアメリカの場合は 1943 年にミネソタ大学における低品位タコナイトの活用処理に端を発し、研究され発展したものである。世界におけるペレット工場とその規模、方式などについては表 1 に示した。

現在わが国においてペレットを製造している会社は数社におよんでいるが川鉄千葉を除いてほとんどが小規模な生産体制である。ここで注目すべきことはわが国の場合いずれも硫酸滓なり、砂鉄なり、を主原料としていることであり、とくにわが国のように硫酸滓を自国で産出し、唯一の鉄源である場合には一方法としてペレット法も面白いと考えられる。すなわち、硫酸滓の活用はわが国にとつて大きな課題であり、今後、この活用について化学工学の技術者と鉄鋼技術者が共同して最良の方法を見出す努力をしなければならぬと考えられる。

購入ペレットについては今後増加の一途をたどるであろうことは論をまたない、これは鉱山における資源的な条件からくるものと、すでに赤鉄鉱でも褐鉄鉱でも十分ペレット化する技術が確立したことであろう。また、さらには山元で焼成処理され強度の高いペレットを購入するため輸送上有利であり、輸送途中での破碎は少なく建設費の大きい焼結設備が不要となり、そのメリットは大きい。ペレット製造技術の主流をなすものは表 1 にも示されるごとく、シャフト炉方式、移動グレート方式、移動グレートとロータリーキルンの組合せ方式であり、いずれの方式にも利欠点がある。大規模な生産方式の場合には移動グレート方式あるいは移動グレートとロータリーキルンの組合せ方式が採用されているようである。ペレットの原料はごく微粒粉に粉碎することが第一条件であり、0.04 mm 以下を 80~90% 以上にすべきであるとされている。その粒子構成について焼結原料と対比してみると表 2 のごとくなり 1956 年に K. MEYER が示唆したペレット原料粒子と 1963 年に A. SEND が示唆したペレット原料粒子とは面白い傾向を示している。このことは高炉が大型化し強度の高い、還元性の良いペレットを製造するためには必然的にこのようになるのであろう。面白い研究をしている CNRM 方式を紹介してみよう。ここではフランスのミネット鉱石、イタピラ鉱石、スウェーデン鉱石、などをうまく混合し、40mesh 以下 100% にすれば 200kg/cm² pellet の強度をもつペレット製造が可能であると、実際に実験用のロータリーキルンで1パスの焼成により前記強度のペレットを焼成している。ミネット鉱石は粘性鉱石であるが、強度を

表1 焼成炉ペレット生産能力表

会社名	工場所在地	能力 (1000t/年)	鉱石	ペレタイジング技術
シャフト炉				
Erie Mining Co.	Aurara	7,500	磁(タコナイト)	Richard Mather 式
Bethlehem Steel Co.	Lebanon, Penn.	330	磁(タコナイト)	自社方式
Bethlehem Steel Co.	Grace Mine, Penn.	2,000	磁	
Bethlehem Steel Co.	Marmora, Canada	1,000	磁(タコナイト)	
Richards Mather & Co.	Hilton, Canada	800	磁(タコナイト)	Surface Combustion Co 式
Moose Mountain		600		
Meramac St. Joseph Lead		2,000		
Sandrikens Ternverks AB	Bodas, Sweden	45	磁	Salamaskin Fabrachs AB式
Luossaraara-Kurunavaara AB	Malmberget, Sweden	600	磁+赤	Salamaskin Fabrachs AB式
川崎製鉄	千葉, 日本	1,200	磁赤硫酸滓	自社方式
日立金属	鳥上, 日本	36	砂鉄	自社方式
日曹製鋼	八戸, 日本	162	砂鉄	自社方式
矢作製鉄	名古屋, 日本	146	硫酸滓	日曹方式
同和鉱業	尼崎, 日本	18	硫酸滓	自社方式
Stora Kopparbergs AB	Soderfors, Sweden	15	磁	Salamaskin Fabrachs AB式
Stora Kopparbergs AB	Falum, Sweden	54	磁+硫酸滓	
Hellefors Bruks AB	Hellefors, Sweden		磁	Salamaskin Fabrachs AB式
Uddeholms AB	Persberg, Sweden	36	磁	Salamaskin Fabrachs AB式
S. K. F Co.	Hofors, Sweden	54		
Vuoksenniska	Imatra, Finland	30	硫酸滓	
住友金属	小倉, 日本	73	磁赤硫酸滓	
移動グレート型				
Reserve Mining Co.	Silver Bay, Minn	5,000	磁(タコナイト)	Mckee 式
Reserve Mining Co.	Silver Bay, Minn	4,000	磁(タコナイト)	Mckee 式
Cleveland-Cliffs Iron Co.	Ishpewing, Mich	660		
International Nickel Co.	Sudbury, Canada	300	磁	Dravo-Lurgi 式
International Nickel Co.	Sudbury, Canada	600	磁	Dravo-Lurgi 式
Columbia-Geneva Steel Co.	Lander, Wyo.	1,400		
M. A. Haura Co.	Groveand, Mich.	1,250	碧玉	Dravo-Lurgi 式
M. A. Haura Co. & Partners	Carol Lake, Canada	5,500	赤+磁	Dravo-Lurgi 式
Marcona Mining Co.	San Nicoras Bay, Peru	1,000	磁	Lurgi 式
U. S. Steel Corp.	Atlantic city, Wyo.	1,000		
Phoexix Pheinrohr AG.	Duisburg Germany		硫酸滓	
グレート・キルン型				
Cleveland-Cliffs Iron Co.	Humbolt, Mich	800	鏡鉄鉱	Allis-Chalmers 式
Cleveland-Cliffs Iron Co.	Republic, Mich	1,000	鏡鉄鉱	Allis-Chalmers 式
Cleveland-Cliffs Iron Co.	Republic, Mich	1,000	鏡鉄鉱	Allis-Chalmers 式
Cleveland-Cliffs Iron Co.	Palwer, Mich	1,200	鏡鉄鉱	Allis-Chalmers 式
キルン型				
光 和 精 鉱	戸 畑, 日本	120	硫酸滓	八幡-光和方式

あげるための一役を果しているといわれる。

造粒装置にはドラム型、ディスク型、コン型、などがあるがいずれの方式も原理は同一であり、原料の銘柄特性にあつた最適粒度、含水率、造粒機周速などの諸操作条件を正確に調整しなければならない。また、強度をあげ焼成時の熱崩壊を防ぐためにはベントナイトなどの結合剤を添加することも行なわれている。通常、焼成温度は1200°C~1300°Cで行なわれ拡散反応によつて堅固なペレットを製造するのであるが、焼結法よりもはるかに低温であつて、焼成所要熱量は焼成炉によつて異なるが、一般に焼成ペレットt当り、磁鉄鉱系の鉱石で150,000 kcal~200,000 kcal、赤鉄鉱系の鉱石で250,000 kcal~300,000 kcalと低く、焼結鉄の400,000 kcal~

450,000 kcalに比し非常に有利な条件を備えている。現在用いられている代表的な焼成炉は図5に示すごとく、3つの型式であるが、シャフト炉は小規模生産で磁鉄鉱の焼成に主として用いられている。

移動グレート方式は西ドイツのルルギー社が開発したもので多量生産方式に適しているが最近では移動グレートとロータリーキルンを組合せたアリスチャルマーズの開発した方式が脚光を浴びつつある。この方式は最終焼成段階でロータリーキルンでの焼成を行なうため回転運動により表面を硬化せしめる効果があり強度の高いペレットの製造に適しているといわれている。しかしながら粉鉄の混入があると最高焼成温度近傍においてダムリングを形成することもある。わが国では神戸製鋼がこの装

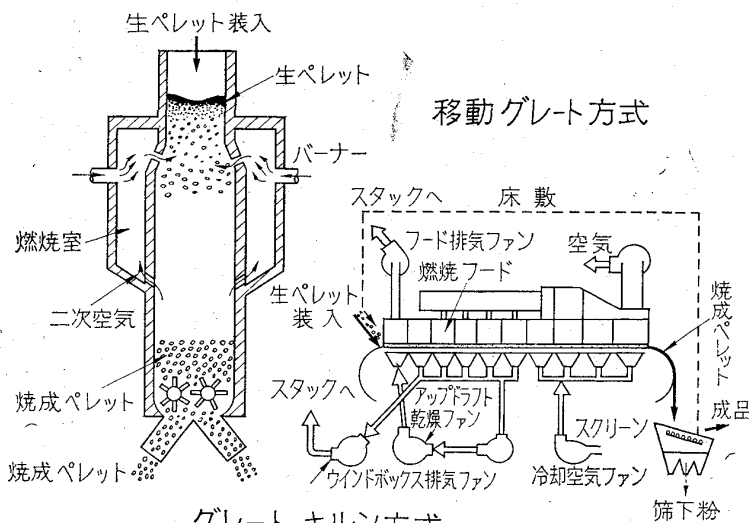
表 2 焼結原料およびペレット原料の適正粒度比較

粒 度		焼結サイズ		ペレットサイズ	
ミリ表示	メッシュ	K. Meyer	K. Meyer	A. Send	
mm	mesh	%	%	%	
+19	—	4.1	—	—	
+ 8	—	2.5	—	—	
+ 3	—	11.7	—	—	
+ 1	—	7.0	—	—	
+0.5	+ 32	27.1	—	—	
+0.3	+ 48	18.2	—	—	
+0.15	+100	20.3	0.4	—	
+0.09	+170	2.1	11.6	—	
+0.075	+200	4.1	11.3	—	
+0.06	+250	3.1		—	
+0.05	—	—	76.7	—	
+0.044	+325	—		—	
+0.04	—	—		—	10~20
-0.04	—	—		—	80~90

置の導入を計り、すでに実験設備による実験を重ね、本格的な大型設備の建設に踏みきつている。

現在、わが国において購入され、使用されたペレットにはまだ優劣があり、安定した良品のペレットであったとはいえず、初期に入荷したものは高炉々内において熱崩壊を起こし、種々のトラブルを起している。しかし

縦型焼成炉方式



グレート キルン方式

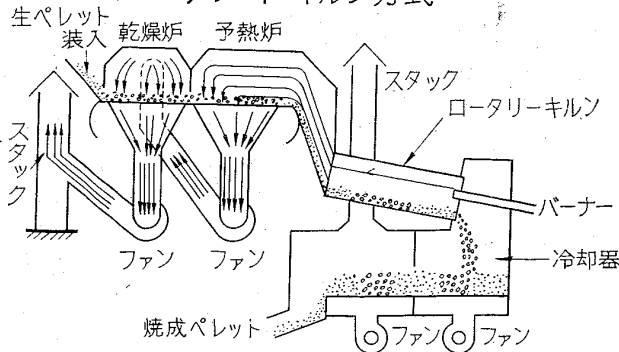


図 5 代表的なペレット焼成方式

これらは使用側のアドバイスなどにより漸次解決の方向にあり、現在のものは入荷時の粉化率も少なくない、良品のものとなりつつある。良質なペレットを使用する場合のメリットは、焼結鉱に比し嵩比重が大きく（焼結鉱 1.5~1.8, ペレット 2.0~2.4）均質かつ球形であるため通気性に優れ、重量当りの表面積が大きく、高品位のため低スラグ操業が可能であり、生産性は上昇し、コークス比が低下するとされている。現時点における定量的な効果は自溶性焼結鉱とほぼ同程度であるとされているが今後自溶性ペレットの研究が進み、良質なペレットが製造可能になれば効果はさらに大きくなることであろう。またさらに、コスト的に可能ならば還元ペレットの出現も間近かと思われる。将来、還元鉱の使用が一般的となり、多量使用することになれば高炉自体に大きな変革もたらされるであろう。しかしながらこの問題は高炉での還元コストと高炉事前での還元コスト、さらには熱の有効利用などの兼合いがどうなるかを今後研究すべきであつて、その成果を待つことになるであろう。現有の世界におけるペレット生産能力は 5,760万 t といわれ、1970 年代には 10,000万 t に達するものと考えられる。

3. 高炉操業技術の進歩と将来

最近における製鉄技術の進歩は前述した装入物の事前処理技術の改善進歩と相まって大きく進歩し、高温送風調湿送風、酸素富化送風、燃料吹込み送風、高圧操業、操業の自動化、などの技術進歩は高炉能率の向上に大きく寄与している。また、最近にいたり、高炉の計算機制御を具体化する傾向がわが国においても強まりつつあり、今後はこのような技術基盤のもとに高炉プロセスの解明、開発が進められていくことであろう。このような総合した成果は図 1、図 6 に示されるごとく生産量の増加、コークス比の低下によつてもわかるとおりいちじるしいものがある。

コークス比の低下は燃料吹込を開始した昭和 37 年からいちじるしい低下を示し、特異な例としては重油の多量吹込みと酸素富化送風を併用し、300 kg 台のコークス比を維持した高炉もある。出鉄比については 10 年前 1.3 t/m³/day が目標であつたものが現在ではそれをはるかにしのぐ 1.6 t/m³/day の高炉が数多く出現しており、時短日の試験では 2.0~2.5 t/m³/day を記録した高炉もある。

3.1 複合送風の進歩

わが国の鉄原価の約 1/3 はコークス原価で占められているといわれており、そのためコークス消費量を極力低下せしめることが鉄原価を低下せしめる近道であるとされている。そのため、前述してきたような原料の予備処理技術と相まって複合送風技術の進歩が望まれ、燃料吹込み送風はもつとも大きな効果をもたらしたものとしよう。

3.1.1 燃料の吹込み送風

高炉の羽口から燃料を注入すれば還元剤とし

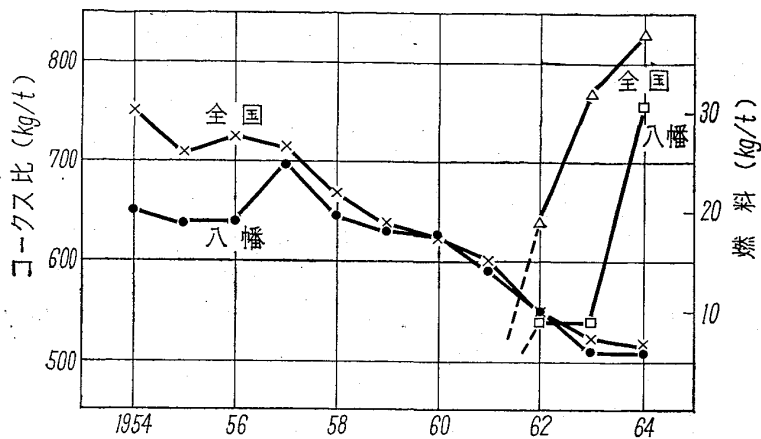


図6 コークス比および燃料吹込量

表3 燃料吹込による燃焼帯温度低下に対する補償

燃料種類量	送風温度 (°C)	水蒸気 (g/Nm ³)	酸素富化 (%)
重油 10kg/t	+40	-5	+0.68
ナフサ 10kg/t	+42	-5.2	+0.75
Cガス 10Nm ³ /t	+29	-3.7	+0.51
微粉炭 10kg/t	+28	-3.6	+0.50

て有効に作用し、高価な高炉用コークスの消費量を減ぜしめることになるという思想は古く、米国、ソ連、などにおいて小規模なテストが繰返されていたようである。わが国においては昭和32年頃から、この問題についての調査、研究が始まり、昭和35年には鉄鋼技術共同研究会で理論面での検討が行なわれ、以後、昭和37年にフランスのポンペイ社と鉄鋼12社が燃料吹込みに関する技術提携契約を結び B. F. I. (Blast Furnace Injection Committee) 委員会が組織され、各社の研究成果を公開しつつ技術レベルの向上に努め所期の目的を達し今日にいたっている。昭和40年3月現在における燃料吹込み高炉は47基中41基であり、その大半は重油となっている。燃料吹込みによる高炉操業上の利点は高温送風、酸素富化を可能とし、操業を安定化して、いちじるしくコークス比の低下に寄与するとされている。燃料を羽口から吹込む場合にはクラッキング、その他による吸熱によつて、羽口前の燃焼温度が低下するため、この温度を一定に保つためには温度補償が必要であり、各社でその補償値を実験的に求め操業管理に適用している。その代表例を示すと表3のごとくなる。

この表によると微粉炭の吹込みがもつとも有利な値を示しており注目に値する。現在、わが国の各高炉は大半が重油を用いているが将来の方向としては石炭の使用が考えられ、すでに欧州鉄鋼業においてはその研究に重点がおかれているようである。その理由は石炭が安価な

ともよるが、油、ガス、などに比し、コークスの節減には石炭が有利であるということが明らかになりつつあるからである。しかし石炭を微粉砕するには磨鉢コストあるいは取り扱いにおいて問題があり、ベルギーの CNRM では石炭を12mm以下に砕いた程度で羽口から投入する方法も研究中である。また一方、油と石炭をスラリー状にして羽口から吹込む研究も、米、英、欧州共同体、らにおいて進められており、有望な方法とされている。近々このような石炭の吹込みが重要な研究課題として、わが国でもクローズアップしてくるであろう。試験的には富士室蘭、八幡東田での実施例がある。日本鋼管川崎では昭和38年7月からタールの吹込みを実施しており、好結果を得ている。今後は上述のごとく、もつとも安価でかつ効率のよい燃料の吹込み技術が採用され、効果をあげていくことであろう。重油吹込の効果は重油の増減1kg/tに対してコークス比の増減1.2kg/tとされている。

3.1.2 調湿送風

調湿送風についてはソ連において水蒸気を送風中に添加する研究がなされ、以後、世界各国で常識化されて実施されるようになった。わが国では15g/m³~30g/m³程度、添加している高炉が一般的であり、主として燃料吹込み量との兼ね合いからアクションの対象にとりあげられている。

3.1.3 酸素富化送風

酸素富化送風については従来から大きなテーマとしてとりあげられ、わが国においても相当古くから研究が進められていた。しかしながら安価な酸素が得られなかつた時代には実用化の段階にいたらなかつたが、戦後、低コストで酸素が得られるようになり脚光を浴びつつある。

高炉で使用する酸素はLD転炉などにおいて用いられるものほど高純度が要求されるわけではなく、そのため酸素製造設備は単純化され、建設費も安くなるものと思われ、製造コストも安価となるであろうから、今後の酸素利用は積極的に行なわれ、高炉操業に一大変革をもたらすであろう。

以上述べたごとく、複合送風の進歩はいちじるしく、今後共大いに発展していくことであろうが、まだ燃料吹込送風、調湿送風、酸素富化送風、など高炉操業諸要因との関係についてはまだ解明されていない問題も多い。将来は冒頭において述べたごとく計算機の導入が計られるようになると操業の能率化が向上することは勿論のこと、並行してこれらの問題も解明されていくことであろう。

3.2 高温送風

わが国の高炉送風温度は前述の原料予備処理の進歩、焼結鉱の高配合、燃料吹込み送風、調湿送風、などの技術向上によつて、すでに1200°Cの送風温度での操業を実施している高炉も出現している。高温送風による利点は、コークス比の節約のみでなく、重装入をも可能にし出鉄増加にも寄与するとされている。定量的な効果は温度100°Cの上昇で16~20kg/tのコークス減になると

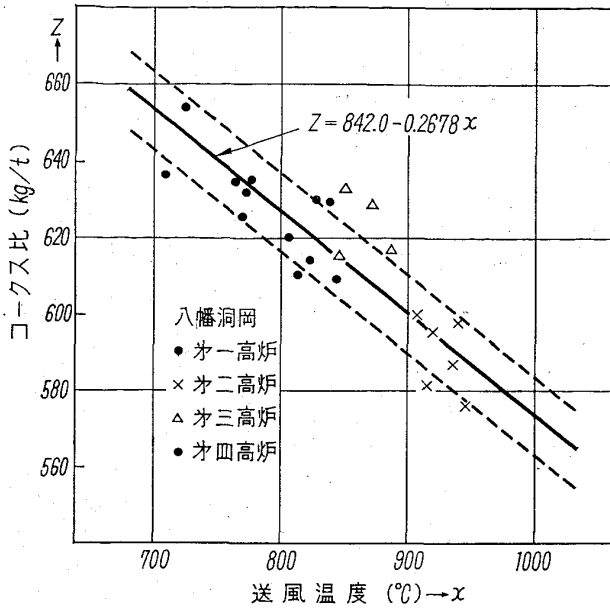


図7 送風温度とコークス比の関係

されている。送風温度とコークス比の関係については八幡洞岡高炉での実例を示すと図7のごとくなる。この結果によると送風温度 100°C の上昇によるコークス比の低減は 21.5 kg となっている。

また、同時期における送風温度と出鉄比との関係調査によると 100°C の上昇で出鉄比約 0.1 t/day の増加となっている。このように高温送風の有利性が認められ、最近では熱風炉の強化も計られるようになった。わが国でも 1パス熱風炉として一方法である外燃式熱風炉が鋼管川崎、八幡洞岡、川鉄千葉でそれぞれ操業に入り、効率よく高温送風することを可能にしている。

3.3 高圧操業

普通圧高炉において単純に増風することは炉内でのガス流速をいちじるしく高めることになり、ある限界を越えると、ハンギング、チャンネリング、が頻発し炉況悪化を招くため、炉内を高圧にし、炉内ガスの容積を減じガス密度も増しガスの流速を遅くして、羽口先と炉頂間の差圧を小さくし、炉況を悪化せしめることなく、増風を可能にしたのが高圧高炉といえる。高圧操業に関する理論的な研究は古い、実際の炉に適用したのは1944年 Republic 社の Cleveland 工場であり、最高炉頂圧 0.7 kg/cm² で出鉄量 13% 増の結果を得ている。一方、ソ連においても Magnitogorks 製鉄工場では実施されて以来急速な発展をとげ 1.0~1.5kg/cm² の炉頂圧で操業している高炉が増加しつつあるといわれている。最近、高圧高炉の普及率は高く、ソ連、米国はもとより、欧州においても数 10 基の高炉が稼動しており、わが国では八幡東田 No. 1 高炉が昭和 37 年 8 月、続いて鋼管水江 No. 1 高炉、室蘭 No. 3 高炉と相次いで火入、操業にはいり、その後続々と新設、または改修の高炉も高圧高炉に改造されている。高圧操業高炉には二重ベル方式と三重ベル方式があるが、超高圧の高炉には後者を採用するケースが多い、二重ベル高圧高炉の概念図を示すと図8のごとくなり、ガスワッシャー出口にセプタム弁を設けることによつて炉内圧を制御している。

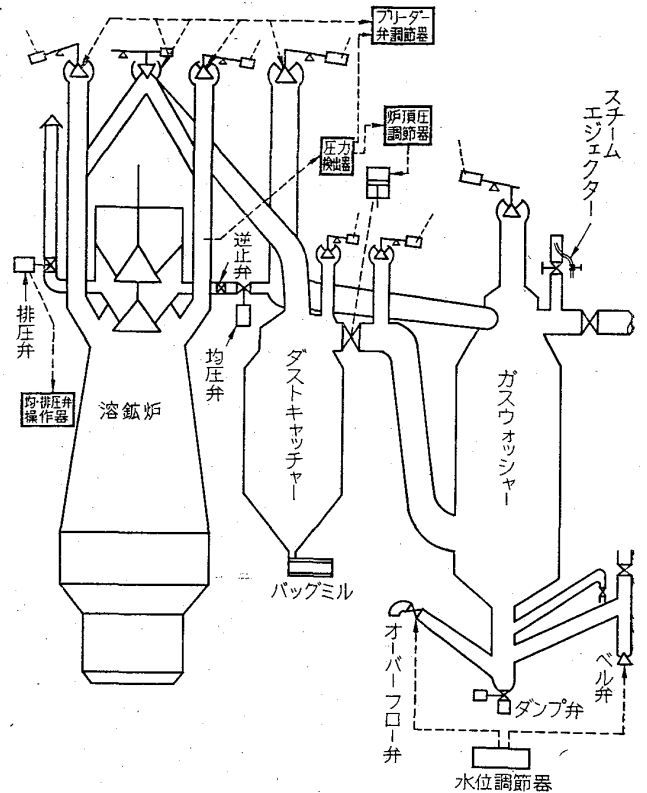


図8 高圧操業高炉の概略図

また、小ベルと大ベル間の圧力を制御するために均、排圧弁が設けられており、自動装入スケジュールの中に組込まれている。高圧高炉の操業成績は八幡東田No. 1 高炉における数カ月の実績によると炉頂圧 0.7 kg/cm² で出鉄比、1.78 t/m³、鋼管水江の実績では炉頂圧 0.4 kg/cm² で出鉄比 1.78~1.8 t/m³ となっている。最近では川鉄千葉の大型高炉 (No. 5 高炉) においても 0.7 kg/cm² の炉頂圧で出鉄比 1.7 t/m³ を記録している。コークス比についても、若干の低下はみられるが操業度を上昇させるに従つてその差は小さくなくなり、ダストの発生量も減少している。将来はほとんどの高炉が高圧操業を採用することになるであろうが今後の問題として残されているものとしてベル、ホッパーの磨耗、高圧部に用いられる各種弁、深度計のシール部の損傷をいかに防ぐかということであろう。長期間にわたつてより高い炉頂圧で操業してもトラブルなく操業可能な上述の装置を案出することは急務であろう。

高圧操業の高炉は普通圧操業の高炉に比し、設備費が高むし、電力費などのランニングコストも高くなるので生産性の高い操業がつねに維持されるような技術確立も必要であろう。

3.4 計算機制御

高炉に関する計算機制御の適用はまだ数例であり、それも、まだ十分なものとはいえない。現在、開発されつつあるモデルは高炉の熱バランス、物質バランスを計算して目標とする銑鉄成分 (現在のところ Si) 出鉄量などを適中せしめようとするものであるが高炉のように複雑なプロセスを制御するにはステイックな考え方でほとんど適中しないと考えられ、種々の検出端開発を

行なつてダイナミックに制御していかなければならないと思われる。計算機を中心に将来を予測してみるとまず、その目的を明確にすること、また、計算機を導入することによつてどの程度まで管理の限界がシビアになるのか、将来、転炉に送る溶銑はどこまで管理すべきなのか（例えば [Si] の管理範囲はもつとシビアになり [C] 温度までも管理する必要があるのか、その場合、メリットはどの程度なのか）これらについて十分検討しなければならぬ時期にきていると考えられる。すなはち制御すべき限界をどこに置くべきか、製銑、製鋼を含めて最有利な線を出し、その目標に向かつてあらゆる技術研鑽に努めなければならないだろう。

4. 結 言

本論文では現時点における製銑関係の動向を中心に取

扱つてみたがここでふれなかつたコークス関係での技術進歩も見逃せないものがある。例えば、操炉の自動化推進、装入炭のドライチャージ、成型炭の装入、など目新しい研究開発が進められている。

将来の方向は本論文でもしばしば述べたごとく、計算機を駆使しての最適化操業に焦点がしぼられることであろう。他部門ではすでにLD転炉、分塊ミル、厚板ミル、ホット、コールドストリップミルなど、計算機を導入して成果をあげつつあるものもあり、近い将来これらのプロセス制御システムを包括して製鉄所全体の工程まで計算機で管理するトータルシステムも誕生するであろう。

本論文では製銑技術全般の概要を簡単に述べたが参考になれば幸甚である。

— 香村賞受賞記念論文 —

製鉄設備の国産化について*

筒 井 統 一 郎*

近年におけるわが国製鉄業の進歩発展は、実にめざましいものがあり、西欧先進国に勝るとも劣らないところに来て躍進し、粗鋼生産量では世界第三位に達している。また品質、技術面においても世界第一流の域に達し、欧米各国からも多くの技術者が国内各製鉄所を訪れている。

戦争による徹底的な荒廃の中から、短時日の間に今日の高度の生産技術の水準に回復し得たのは、外国技術の導入、外国製設備の輸入により果し得たことは、何人も認めるところである。しかし近代的大製鉄所に足を踏み入れた際、外国製設備が数多く目につくことは、わが国技術者の一人として、何か一抹の寂しさを感じざるを得ない。今や世界第一流の域に達したわが国製鉄技術がさらに飛躍的な発展をとげるためには、諸外国の新技術の導入ばかりでなく、日本独自のオリジナリティのある技術の開発に努力せねばならない時期に達したものと思う。

およそ設備というものは、経済性以外に製品に要求せられる特性に密接な関係をもつものであり、製品に対する顧客の要求の高度化とともに変化してゆかねばならない。新製品の開発には、必ず設備の開発を伴うものであり、製鉄業者と機械製作者とのより密接な連携を必要とする。そして新技術の非公開性という特性から、両者の連携をどうやつて実現してゆくかという点に、非常に困難な問題を生ずるのである。

およそ工場設備というものは、目的とする製品の製造設備を安く、確実に、早く作ることが要求される。この要求を達成するためには、企業の立場からは輸入設備でも国産設備でも最も都合の良いものを選ばばよい。現在

までに建設され、また建設中の製鉄プラント設備は、すべてこの目的にそつて輸入され、あるいは国産化されてきたのである。

しかし国家的立場からすれば、機械工業の強化、あるいはプラント輸出の促進をはかるため、当然国産機械による工場建設が推奨されなければならない。

ここで外国技術、設備の導入から、国産技術の開発までのステップを考えてみると、つぎの三段階に分けられる。

- (1) 第1段階
全設備あるいは大部分の設備を輸入し、製造技術を修得してゆく過程。
- (2) 第2段階
機械工業の発展とともに、図面あるいはエンジニアリングを輸入し、その上に国産化をはかり、さらに逐次改良を加えてゆく過程。
- (3) 第3段階
独自の製造技術、あるいは設備技術の開発を行なつてゆく過程。

このように分類してみると、日本の鉄鋼業もいよいよ第2段階を経て、第3段階に入つていかなければならないと考える。

ここで輸入された製鉄機械の鉄鋼設備投資金額中に占める比率を図1にのせたが、逐次減少の方向に向かつていることがわかる。このことより、日本の鉄鋼業も事実

* 昭和41年4月5日東京大学において講演
昭和41年5月4日受付

** 日本鋼管株式会社川崎製鉄所 取締役所長