

省エネルギー的見地からみた

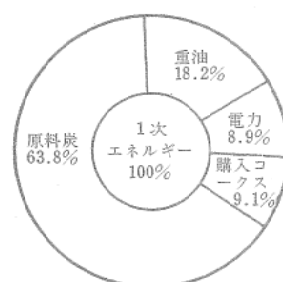
最近の製鉄技術の展望

新日本製鉄株式会社
堺製鉄所

神 原 健二郎

1. はじめに

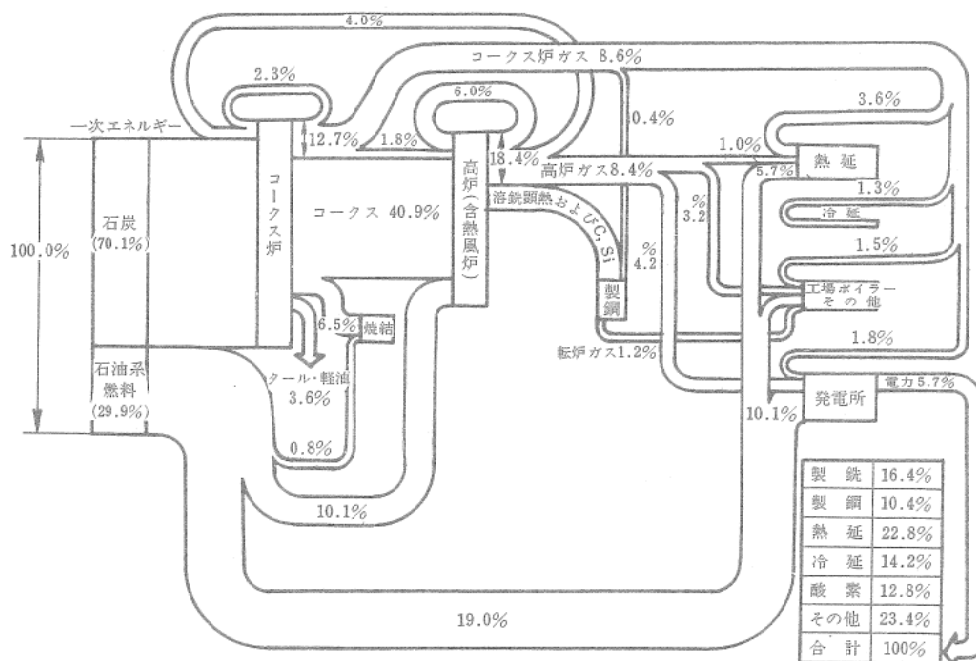
鉄鋼業はエネルギー産業とも言われるように固体燃料から気体燃料に至るまで、あらゆる種類のエネルギーを効率的に使用する産業であると同時に、その使用量においても莫大で、昭和45年度のわが国のエネルギー需要3億K ℓ （原油換算）の約18%、鉱工業用エネルギーの約37%を占める5,500万K ℓ に達している。また製鉄所で使用するエネルギー消費量を鉄鋼一貫製鉄所についてみると、鋼材の加工度にもよるが一次エネルギー換算で粗鋼トン当り約600～700万Kcal（昭和47年度は620万Kcal）となり、そのエネルギー源は、原料炭、重油及び電力がその主体となっている。第1図に示すように、このうち70%強が石炭であり他産業においては石炭を極力減少させて重油に転換して



第1図 一貫製鉄所一次エネルギー構成比
(1973年)
(総合エネルギー統計資料)

きたが、鉄鋼業においては、石炭をこのように大量に使用している。

さて、これらのエネルギーが製鉄所内でどのように有効利用されているか、第2図の一貫製鉄所のエネルギーフローを参考にみると、



第2図 一貫製鉄所のエネルギー流れ図 (鉄鋼統計要覧)

総入エネルギーの80%はコークス炉、熱風炉、高炉、焼結炉といった製鉄部門で利用されていることがわかる。従ってエネルギー有効利用の面から、製鉄部門の省エネルギー化技術は非常に重要であり、以下に述べる製鉄技術の進歩は、まさにこの省エネルギー化技術の成果を示すものであると言える。

省エネルギー化技術の成果として挙げられる「高炉の燃料比の低下」、「高炉の大型化」はその代表例であり、使用エネルギー源、種類の拡大、転換の見地から、コークス新技術の開発もまた重要なものである。

以下に、これらの技術の成果及びその進歩について述べることにする。

2. 高炉の燃料比の低下

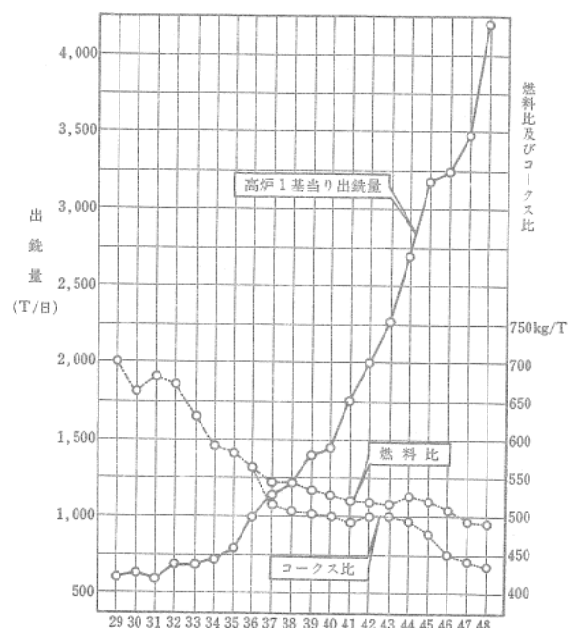
高炉のエネルギー消費量は莫大で製鉄所全エネルギーの50%以上に相当し、そのエネルギー源のほとんどがコークスと重油である。例えば、粗鋼年産1,000万トン製鉄所の場合、年間総エネルギー使用量は25兆Kcalとなり、石炭の使用量は年間650万トン、重油は年間65万トン程度の使用量となる。従って高炉の燃料比（コークス比＋重油比）の低下は省エネルギー化につながり、コークス比の低下は強粘結炭の節約、つまりエネルギー源、種類の拡大、転換につながるのである。さらにわが国では、価格の面で高価な原料炭を使用しなくてはならず、鉄製造原価に占めるコークス費の割合は大きく、コークス比及び燃料比の低減は製鉄技術の最優先課題となってきたのである。

最近のわが国高炉燃料比の推移は、第3図に示すとおりで、過去15年間に鉄鉄トン当たり600kgから494kgへと著しい低減の成果をあげている。さらにコークス比低減も世界最良の水準に達し、鉄鉄トン当たり434kgとなっている。

このような燃料比、コークス比の低減に寄与した技術の主なものは、

- ① 原料事前処理技術の進歩
- ② 高温送風技術
- ③ 酸素富化及び燃料（重油）多量吹込技術
- ④ 高炉々内の制御技術

などの新技術で、これらを積極的に採用してきたことが今日世界的好成績を達成している理由である。

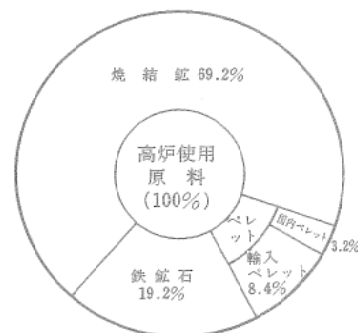


第3図 最近の高炉の出鉄量（1基当り）及び燃料比推移 但し、コークス比＋重油比（タールも含む）＝燃料比

ここでは、上述の技術についてその進歩の跡を顧ることとする。

① 原料事前処理技術の進歩

第4図に示すように最近の高炉使用原料の80%以上は焼結鉱及びペレット（塊成鉱）で占められている。これは、塊成鉱が通気性、還元性の面で優れており塊成鉱使用比率が10%増すとコークス比は鉄鉄トン当たり5～10kg低下出来るとい理由からである。そこでこれら塊成鉱の品質は特に重要視され、従来から化学的性状、物理的性状に関して技術改善が加えられてきている。



第4図 高炉使用原料（昭和47年度）（鉄鋼統計要覧）

例えば、昭和 30 年頃より基礎研究に着手し、昭和 33 年には実操業化された自溶性焼結鉱の開発は、その代表例と言えよう。その後焼結鉱強度、粒度及び塩基度の管理が重視されるようになり、特に高炉の通気性改善を目的として焼結鉱粒度が注目され、最大粒度を 50 mm 程度とし、極力粉率を下げるため高炉炉前で再篩分けする方法がとられている。また高塩基度焼結鉱の製造のため高精度の原料切出装置、焼結用原料の粒度管理など、一段とキメ細かい原料管理が行なわれている。さらに最近では、高炉々内での挙動を評価する熱間性状をも重視するようになってきている。これは焼結鉱、ペレット、鉱石の中には比較的低温（500℃前後）の還元雰囲気中で膨張したり、崩壊したりするものがありこのような原料が高炉で使用されると炉内で粉化して通気性阻害を起し、炉況不調となるからである。従って冷間強度のみならず熱間においても強い、高品質の焼結鉱を製造する技術の確立が必要であり現在種々の研究が行なわれ多くの報告がなされている。

一方ペレットに関しては、高品位でスラグ量が少いためコークス比を低下させる、均質で球状のため通気性が優れ被還元性が高い等の理由から高炉での使用量は増加傾向をたどっている。最近ではペレット使用頭初問題となった還元膨張（Swelling）現象も解決され、一段と被還元性の良い自溶性ペレットの製造へと進歩している。また高炉へのペレット多量使用に伴う炉況不調の問題についても多くの検討が行なわれ、熱間強度の低下などが指摘されており、熱間性状改善を目ざして原料、操業両面よりの検討が加えられその成果が現われてきている。

② 高温送風技術

送風温度を上げることは、熱風の顕熱エネルギーをコークスの燃焼エネルギーに代替することであり、従来より送風温度の低い場合、送風温度 100℃上昇することでコークス比を鉄鉄トン当たり 20 K $\%$ 低下、高温の場合では、10～15K $\%$ 低下するといわれている。さらに高温送風により羽口より多量の重油を吹込むことが可能となりコークス比の低下を一段と向上することができるといわれている。

そこで高温送風のために熱風炉、送風配管な

ど高炉付属設備、高炉操業の改善が行なわれ、最近では、1,200℃～1,300℃の送風が実施されている。

特に熱風炉は、従来のカウパー型のものとは異なり、燃焼室を本体の外に別置した形をしており、コッパース型、マーチン型、その他わが国独自のものも開発され最近の大型高炉では、ほとんどこれらの型式が採用されている。これら外燃式熱風炉は従来のカウパー型に比べ 1 基当りの加熱面積の増加、高温でレンガ積の安定化が達成され、高温送風に適した構造となっている。また使用炉材も高温部に珪石レンガ及び高アルミナレンガが当初用いられたが現在では耐クリープ性の良好な珪石レンガが主に使用されている。

また熱風炉操業の面での進歩としては次のようなものが挙げられる。(a)スタッガード・パレル送風 (b)熱風炉切替時間の短縮 (c)排熱回収による燃焼用空気の予熱

今後高炉の大型化に伴い、炉床径も増大し、出鉄出滓をよりスピーディにする必要性から、羽口前燃焼温度を上昇して、溶鉄温度をあげて流動性の改善をはかる必要があり、この点からも高温送風は重要なものとなっている。

③ 酸素富化及び燃料（重油）多量吹込技術

高炉の羽口部から重油を吹込みコークス比を下げる技術は近年酸素富化送風技術と前述の高温送風技術と相補って急速な進歩をとげた。従来の実績によると鉄鉄トン当たり重油 1 K $\%$ 吹込んでコークス比は、約 1.0～1.4 K $\%$ 低下出来るため、原料炭の節約という省資源の立場からも、又比較的安価な重油が使用できるという経済的立場からも注目されてきた。

この技術は昭和 36 年に実用化されてから、各社に急速に導入されていった。しかし第 3 図に示すように鉄鉄トン当たり 40～50 K $\%$ の重油比で停滞状況となり、技術的に重油吹込量に制限があることが認められた。これは重油を羽口より吹込むと、重油の熱分解によって羽口前燃焼温度が低下するので、送風温度の上昇、送風湿分の低下、酸素富化等を併用して温度補償を必要とするのであるが当時これらの値が限界値に達していたためである。そこで、さらに重油を多量に吹込む手段として重油バーナーの燃焼

能力に注意が向けられた。重油をバーナー部で圧力噴霧させる通例の方法では羽口一本当りの吹込量は、 $300 \sim 400 \text{ l/Hr}$ が適当とされ、これ以上の重油を吹込むと羽口前の燃焼帯で燃焼が完了せず煤を発生したり、羽口内での逆流現象が頻発する。従って急速に燃焼するバーナーの開発が研究され、酸素バーナー、エアアトマイズドバーナー等が使用されて、羽口一本当り $1,000 \text{ l/Hr}$ 以上の重油が確実に長期間吹込めるようになっている。さらに昭和 45 年頃の原料炭不足、価格高騰によって、コークス比の低下が一段と重要視されるようになり、従来から実施されている重油吹込技術を徹底的に追求し、吹込量を大幅に増加させる技術、多量重油吹込を長期間安定して行う技術の確立に努力した結果、最近では、銑鉄トン当り 70 Kg の重油を常時吹込むことが可能となり、高炉によっては、 100 Kg 以上の所も出現している。これは重油の多量吹込に有効な酸素富化送風を採用してもコスト的に引合うようになってきたことから、積極的な酸素富化、重油多量吹込が行なわれたためである。

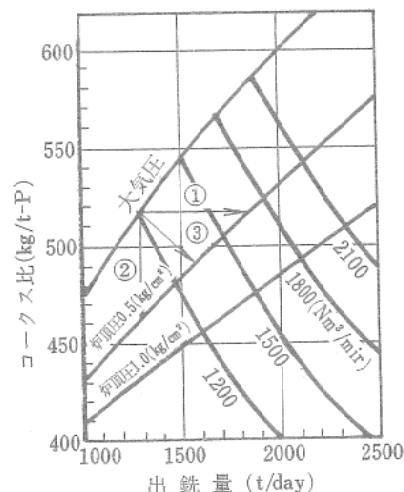
しかしながら、羽口前燃焼温度を一定水準に保ちながら、多量の重油を羽口前でガス化できれば、それだけで高炉への重油多量吹込が達成されるというものではない。重油を多量に吹込んでコークス比が低下していくと、炉内におけるコークスに対する鉱石の比率が大きくなり、通気性に問題が生ずる。従って装入物の品質向上、すなわち装入原料中の粉を徹底的に除去することと炉内での熱間性状に着目した品質管理が一層必要であり、前述の原料処理技術の進歩も重油多量吹込技術の進歩を裏づけるものの一つと言える。

④ 高圧操業技術

高圧操業は、原理的には炉頂ガス管に絞り管を設けて炉頂ガス圧力を高めて行う操業法であり、2つの利点を有している。

1° 炉頂圧上昇により炉内ガス密度を増加し、ガス流速を減ずることにより羽口先と炉頂間の差圧を小さくして、炉況を悪化せしめることなく送風量の増加が可能となり生産性が向上する。

2° 炉内ガス圧力の上昇により還元反応が促進され、かつガス圧力の上昇、ガス流速の低下



第5図 炉頂圧と出鉄量、コークス比の関係
(富士室蘭第3高炉) (鉄と鋼51)

により装入物と炉内ガスとの熱交換及び還元反応が促進されてコークス比が低下する。

第5図は炉頂圧と出鉄量、コークス比の関係を示したものである。この図から、①出鉄量の増加を目的に炉頂圧を上げる方法、②コークス比の低下を目的に炉頂圧を上げる方法及び、③両者の中間の方法も可能であることがわかる。つまり高圧操業では、その操業方法に柔軟性があり、そのときの経済情勢に適合した方法が採用できるのである。

この高圧操業はわが国では昭和 37 年 8 月、新日本製鉄(旧八幡製鉄)東田 1 高炉で採用されたのが始まりで、その後高圧設備を有する高炉が順次増加してきた。特に新日本製鉄名古屋 3 高炉へのソ連からの技術導入による超高圧設備が採用されて以来、最近の新鋭高炉では炉頂圧も常用 2.5 Kg/cm^2 、最高 3.0 Kg/cm^2 のものが稼働している。又このための炉頂部の装入装置として従来の 2 ベル式からバルブシールを併用する方法が開発使用されている。

さらに最近注目されているものとして高炉々頂圧ガス発電がある。これは高圧高炉では、セブタン弁で高炉ガスを減圧して回収しており、このとき無駄に消費されるエネルギーを有効活用するため、膨張タービンと発電機を備えて回収するもので高炉一基で $8,000 \sim 10,000 \text{ Kwh}$ の電力が得られるものである。

⑤ 高炉々内の制御技術

燃料化をより一層低下させるため、羽口先で

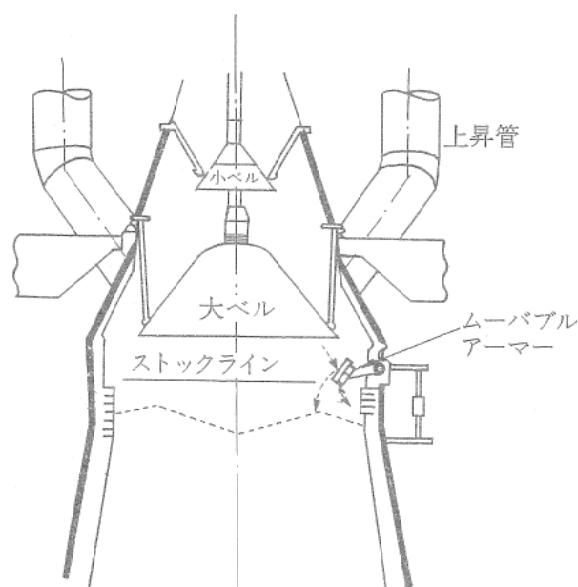
燃焼生成した還元ガスを炉内において、適正に分布させ、熱効率、ガス利用率を向上させることが注目されている。しかしながらガスの適正分布は的確に把握されたとはいえず各高炉に応じて決められているのが現状である。

ガス分布に影響を及ぼす要因には、装入物の炉内分布、羽口状況、炉壁付着物等がある。このうち付着物は、すでに除去技術が確立されているが、 $2,000^{\circ}\text{C}$ という高温の羽口部の解明は遅れており、羽口ゾンデ、高温カメラ等を活用するとともにモデル実験も行なわれている。

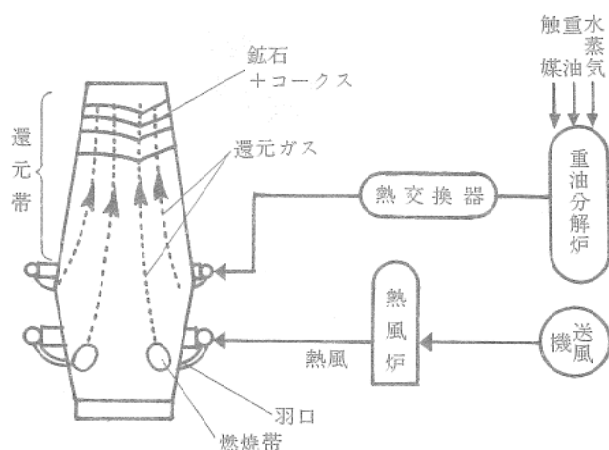
また装入物の炉内分布については、特に重点管理される傾向にあり、装入原料の炉内層厚の変更、装入レベルの変更、装入順序の変更など従来の方法に加えて第6図に示すようなムーバブルアーマーと呼ばれる可動式反撈板が採用され、一段とキメの細かい調節が可能となっている。

さらに炉内のガス分布の変化を知る目的で、従来は炉頂部にゾンデを設置し、温度分布、ガス成分分布を測定していたけれども最近では、シャフト各部での水平ゾンデによる測定、炉頂より炉内に垂直に挿入される垂直ゾンデによる測定も行なわれ、高炉々内状況は次第に解明されてきた。

さて以上の①～⑤迄の技術の他に、これらの技術を可能にした背景技術の高度化（設備管理強化による安定稼動及び稼動率の向上、コンビ



第6図 高炉装入装置



第7図 F.T.G法の原理

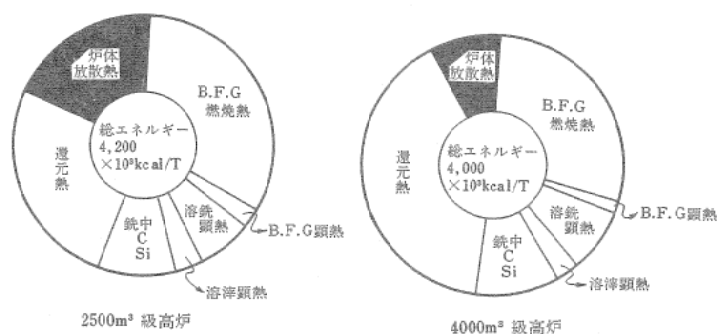
ューターを利用した操業管理強化による安定操業、作業管理強化による出鉄滓の安定化）も燃料比の安定的低下に不可欠の要素となっていることを忘れてはならない。

さらに将来技術として還元ガスの吹込技術が開発されており、今後羽口部から重油を吹込む限度以上に燃料を高炉で使用しコークス比をより一層低下させようとするとき、この技術が有力な手段としてクローズアップされよう。

この方法は、原理的には、高炉々外で重油等を分解して CO 、 H_2 を主成分とする高温還元ガスを製造し、これを高炉シャフト下部又は炉腹部の還元帯に吹込むプロセスである。つまり羽口前でコークスの燃焼により発生する CO ガスの一部を還元ガスで代替しようとするものである。わが国の還元ガス吹込技術は、新日本製鉄広畑3高炉に於て、Texaco社との共同開発によるF.T.G法の開発が実操業試験として最初のものであった。第7図は、このF.T.G法の原理を示したものである。今後この技術が実用化されるためには、高炉内での還元ガスの流れの分布、還元ガスの利用効率の向上が鋭意検討されると同時に、設備的には、還元ガス製造装置、吹込み装置および安全装置などの開発が必要とされ、現在推進されつつある。

3. 高炉の大型化

高炉の大型化は、生産の増大によって鉄鉄トン当りの固定費を縮減し、労働生産性を高めるのみならず、高炉以降の製鋼、圧延、加工工程と調和した合理的なものでなくてはならないた



第8図 中・大型高炉エネルギー対比

め工場全体の規模増大とその集約化に大きな役割を果たすことになる。さらに大型高炉と中小型高炉を比較した場合、燃料比及びコークス比の低下は大型高炉の方が有利である。この理由は、第8図に示すように大型化により物理的な炉体放散熱等が減少するほか、大型高炉には操業の高効率化を目的とした最新技術の粋が装備されているためである。従って高炉の大型化は同時に省エネルギー化技術の進歩を示すものと言える。

さて高炉の大型化は、戦後既存の高炉の中で最大であった洞岡（旧八幡製鉄）、広幡（旧富士製鉄）の1,000 T高炉に始まり、それが鉄鋼需要の増加に支えられて略200～300 m³ピッチで順次大きな内容積となり、現在では、4,000 m³

級のマンモス高炉が輩出している。これを世界的にみると第1表のようになり規模的に最大の高炉はほとんどわが国で占められている。しかし最近ヨーロッパでも日本の実績に刺激されて4,000 m³級の高炉が出現し、アメリカでも計画中のものがあり、さらにソ連では5,000 m³級の高炉が計画中と伝えられている。

これらのマンモス高炉は、単に大きいというだけでなく、超高圧、高温送風、酸素富化送風、原料処理強化、コークス品質改善等の製鉄技術の粋を集めたものである。ここではこの大型高炉の技術を支えているものについて述べることにしよう。

1) 大型化の技術的背景

前述のように、わが国の最大級の高炉内容積

第1表 世界の大型高炉

順位	製鉄所	炉号	内容積 (m³)	炉床径(m)	火入年月
1	日本鋼管・福山	№. 5	4,617	14.4	'73. 11
2	ユジノール・ダンケルク(仏)	№. 4	4,526	14.0	'73. 4
3	川崎製鉄・水島	№. 4	4,323	14.4	'73. 4
4	日本鋼管・福山	№. 4	4,197	13.8	'71. 4
5	新日本製鉄・大分	№. 1	4,158	14.0	'72. 4
6	A.T.H.・シュベルゲルン(西独)	№. 1	4,084	14.0	'73. 2
7	住友金属・鹿島	№. 2	4,080	13.8	'73. 3
8	新日本製鉄・君津	№. 3	4,063	13.4	'71. 9
9	神戸製鋼・加古川	№. 2	3,850	13.2	'73. 1
10	新日本製鉄・戸畑	№. 4	3,799	13.5	'72. 7
11	ホーホーフェンス・アイムイデン(オランダ)	№. 7	3,667	13.0	'72. 11

(鉄鋼統計要覧)

は4,000～4,500 m^3 であり、すでに、5,000 m^3 級のものが建設に入っている現状である。この高炉内容積の増加を可能せしめたのは、次の点に留意した操業技術の裏づけがあったからである。(a)装入原料の炉内均一性、(b)炉内容融物の安定的抽出、(c)炉内ガス流速の管理

(a) 装入原料の炉内均一性

高炉という巨大な化学反応塔において均一性が円滑な反応プロセス進行上極めて重要である事は当然で、このための手段として整粒強化と均一銘柄である焼結鉱の多量配合及び品質強化（冷間強度及び熱間強度向上）を行ない、炉内への均一分配装入のため、旋回ホッパー、旋回シュートに連続化機能を与えて強化をはかってきた。さらに羽口間の風量分配異常の防止や装入物の炉内降下不均等を招く片寄った出銑出滓作業の防止など、作業管理の進歩も忘れてはならない。

(b) 炉内容融物の安定抽出

4,000 m^3 の高炉では1日10,000 Tの銑鉄、3,000Tのslagが溶融物として炉外に抽出される。これは1日連続的に見ても平均一分間10 T前後の抽出をコンスタントに維持する必要性を有していることになる。そこで出銑出滓作業、運搬の合理化にも注意を向けなければならない。例えば、開孔機、閉塞機的能力アップ及び改良、可動式溶銑樋の採用、羽口・ブローパイプ取替機の開発が積極的行なわれ、さらに出銑出滓作業関係の耐火物の開発、大型トビードカー（600 T/台）の採用及びその運用管理の強化にも進歩の跡が現われている。

(c) 炉内ガス流速の管理

内容積の増加とともに当然炉床径も大となるため、高炉内で還元ガスの分布が不均一になる傾向が生ずる。そこで炉内に装入する鉱石及びコークスの装入方法を調節して、炉内での装入分布を改善し還元ガスの分布をコントロールしてやる必要があり、さらに羽口前の流速を考慮し、炉内深く熱風が通るような工夫も必要である。前述のムーバブルアーマーの採用も炉内装入物の分布調節のためであり、大型高炉の使命を充分に発揮するためには必要不可欠のものと言えよう。又炉内のガス流速を均一化するため大型高炉では炉頂圧2～3 Kg/cm^2 という超高

圧操業が実施されている。

ロ) 設備技術の進歩

大型高炉の休止が後工程に及ぼす影響は極めて大きく、単に物質的な面だけでなく製鉄所全体の熱バランスをも乱す原因となる。従って高炉稼働率の高位安定化は欠くべからざるものであり、この点設備技術面での進歩が同時に必要であった。

炉体支持構造に関しては、明治の末期に鉄帯式（ドイツ式）に始まり、昭和7年には鉄皮式（米国式）が出現し、戦後ドイツでフリースタンディング型が開発され、わが国でも一部採用された。しかし当時のこの方式は、羽口周辺の作業性に難点があるうえ、高炉の大型化に伴ない地震の多いわが国では炉頂荷重は櫓で支持する方が安全ということでドイツ式と米国式の折衷型式である鉄骨鉄皮式が採用されており、炉体の中央部を櫓で支えるダブルリングガーダー櫓支持方式か、炉体の下部に支えを入れる等厚壁ダブルリングガーダー方式がとられている。この方式の問題点は、下部支柱の場合には鑄床作業のじゃまになること、櫓方式の場合には、櫓取付け部（ダブルリングガーダー部）の炉内レンガ侵蝕等のトラブル発生時に容易に修理が出来ないこと、さらに櫓の構造そのものも故障の原因になることなどがある。そこで最近では、大型高炉に再び下部支柱のないフリースタンディング方式が採用されようとしており、新日本製鉄戸畑4高炉（内容積3,799 m^3 ）では、火入後2年半経過した現在でも、フリースタンディングによる操業トラブルもなく順調に稼働している。

次に耐火物に関しては、高炉の大型化に対応して苛酷化する操業条件に対し、炉体用耐火レンガの品質改善、新種炉材の採用、レンガ積構造の改良が進められ、炉一代の総出銑量も昭和25年の100万Tから最近では1,000万Tに向上し現在では2,000万T以上を目標にして炉材の改良研究が進んでいる。

例えば高炉用粘土レンガに要求される品質は、炉上部用としては装入物による摩耗を考慮して低気孔、高強度を有するように、又炉下部用としては化学的侵蝕に対する抵抗性を備えるように品質改良が行なわれてきた。その結果、気孔

率 17→10%、アルミナ含有量 38→42%、耐火度 S K 32→34、荷重軟化点 T_2 1,430→1,540℃等の品質改善となっている。これらのレンガの使用原料は従来シャモットを主体としているため、最近のように高炉の大型化による生産性の向上、炉一代の総出鉄量の増加のため高炉用耐火物の耐侵蝕性強化が要請されると粘土以外的高级耐火物の検討、試用が進められた。すなわち粘土レンガのアルミナ含有量を増加して耐蝕性、耐火性を向上させた高アルミナレンガ、さらにその気孔率を極限迄低減させたアルミナ質電鍍レンガ、耐スラグ侵蝕性が高く、熱伝導性の優れている炭素及び黒鉛レンガの使用が行なわれている。

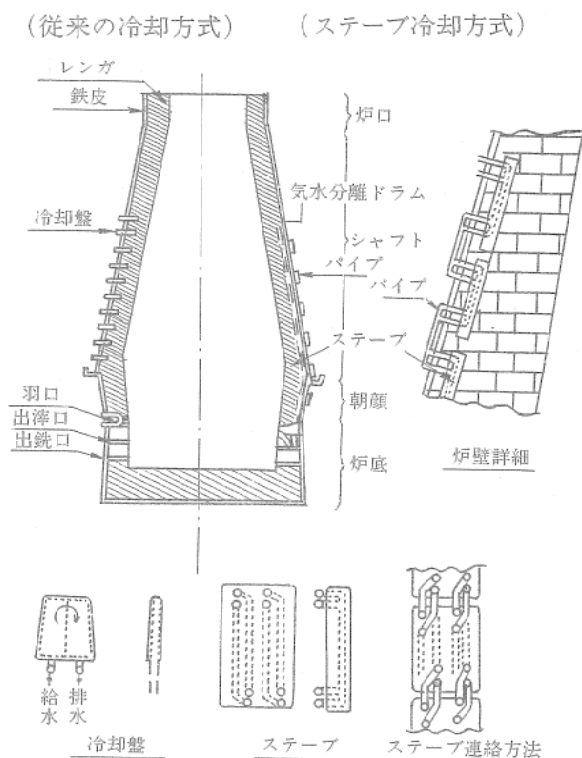
次に炉底用耐火物については、昭和 25 年頃迄は粘土レンガが使用され、炉底破損を頻発していた。このため昭和 26 年洞岡 3 高炉に西ドイツで実用化されていた炭素ブロックを試用し、好成績を得て以来、炉底上段 2～8 段に炭素ブロックを使用するのが標準構造となり、炉一代出鉄量も 300～500 万 T に向上した。しかしその後、2,000 m^3 級の高炉となり蓄熱熱量の増大、溶鉄温度の上昇、出鉄比の向上により再び炉底周辺部の侵蝕が著しくなり炉底破損の危険性が著しくなった。このため最近の大型高炉では、熱間容積安定性、耐アルカリ性、加炭性、伝熱性等の諸特性を検討し、材質も冶金コークス質から無煙炭質に切換えて使用している。

また、高炉の寿命に関係する炉体冷却方式に関しては、従来の冷却盤方式の改良のほかに、第 9 図に示すようなステープクーリング方式が採用されている。この方式は、ソ連で開発されたもので、図のようにパイプを鑄込んだ鑄鉄製のブロックで出来ており、水又は蒸気により冷却を行なうもので、ガスの気密性にも優れており高圧操業に適するとの考えから最近の大型高炉で多く採用されている。

ハ) 計測、制御技術の進歩

高炉の大型化に伴い、操業の安定化・高度化が従来以上に要求されるようになり、各種の計測技術や制御技術が開発され、実用化されている。

まず、高炉の代表的な計測技術(検出端)としては、高炉の熱的状态を理論的に推定したり、



第 9 図 高炉炉体冷却法の比較

炉内に装入された鉄鉱石の還元状況を推定する上で不可欠な炉頂ガス分析装置がある。またすでに述べたように、炉頂半径方向のガス温度および組成分布を計測するための炉頂水平ゾンデが開発実用化されており、この他、炉頂装入物の温度分布パターンや形状を測定するための赤外線 I T V 法やプロフィールメーターもすでに一部実用化されている。さらに最近は、炉内の融着層形状や温度分布等、炉内状況をより高い精度で推定するために、シャフト部に水平ゾンデ、あるいは垂直ゾンデを挿入し、温度やガス組成を測定する技術もほぼ確立されたといつてよい。この他、羽口燃焼帯の状況を定量的に把握するための羽口先端温度の測定技術も確立されており、最近は、V T R あるいは微小圧測定による羽口情報に基づく高炉動特性の研究も進められている。一方炉体管理用に設置されている炉床部やシャフト部等の炉壁レンガ温度あるいは、ステープクーラーの温度計測点は、最近の大型高炉では 200 点以上となっており、これら炉体温度は、単に炉体管理面だけでなく、操業上の有用な情報としても活用されている。また、炉内浸水を検出するための羽口冷却水の流量測定

技術あるいは排水温度の計測は、すでに標準的な計装設備となっているが、これらも重要な検出端である。

つぎに、制御技術として高炉プロセスコンピューターの利用技術について概観する。高炉には、前記検出端データの他に、装入原燃料の秤量値、送風量や送風温度などに代表される流量、温度、圧力に関する各種操業データおよび銑鉄やスラグの化学分析値など膨大なデータが時々刻々、ランダムに発生するが、高炉の大型化と操業の高度化に伴って増加したこれらのデータを正確に、且つ迅速に把握するためには、コンピューターは今や不可欠な道具となってきた。昭和 36 年頃、データロガーとしてわが国の高炉に導入され始めたコンピューターは、現在では、単にデータロギングの機能だけでなく高炉プロセス解明の道具として、各種検出端データの処理や高炉シミュレーションモデルの精度向上に利用され、得られた高炉シミュレーションモデルによって、炉況変動をかなりの確に予測し、それに対して、適切なアクションを操業者に指示したり、重油流量や送風湿度などの操作因子を自動的に制御するいわゆる高炉プロセス制御の機能を具備するようになってきた。これによって、炉況の安定化が図られ銑鉄品質の向上や燃料比の低下に寄与していることが立証されている。また高炉プロセスコンピューターは以上の機能の他に、秤量制御、炉体管理、高炉付属熱風炉のプロセス制御の機能も具備することが可能であり、わが国の 2、3 の高炉、例えば、新日本製鉄の堺第 2 高炉や君津第 3 高炉ではすでに実用化段階に達している。

4. コークス製造技術

高炉内でのコークスの役割は、熱源と還元剤であると同時に、炉内容積の 70% を占めるスベーターとしての役割も持っている。このためコークスの品質は 1,500℃ の高温における物理的性状とガス、スラグ及びアルカリ等に対する耐劣化性で評価される。そこで良質の強粘結炭を 50～70% 程度も配合して品質の維持をはかってきたわけであるが将来の石炭供給見通しからは、良質の強粘結炭の確保に不安があるうえに、弱粘結、非粘結炭については未だ開発の余

地が多分にあることから、現状コークス法の改善、又は新コークス法の開発が要請されている。そして石炭資源利用の範囲を拡げて現状の窮屈な原料炭問題を緩和する方法が考えられている。例えば、予熱炭装入法、成型炭装入法、石炭粒度調整法等は現状コークス法の改善であり、新技術としては、成型コークス法が注目され一部の高炉で試用されている。

この他、廃エネルギー回収を目的としたコークス乾式消火法やコークスの生産性を高め、環境上も好結果が期待される Coaltek 法等の導入があり、今後わが国製銑技術がコークス技術の面で前進すると同時に、このような技術進歩により製銑プロセスの省エネルギー化が益々促進されてゆくものと期待される。

以上最近の製銑技術の進歩について広範囲にわたって述べたわけであるが今後残されている最も大きな問題は、資源と環境の問題である。特に資源の中でエネルギー問題は製銑技術にとっては重要で、省エネルギー化技術の要請は益々大きくなってゆくと思われる。そこで今後ともエネルギー情勢を考慮しつつ、操業技術の検討を行なうとともに、最近工業化の端緒が見える還元鉄製造法や国家的大型プロジェクトとして取上げられている原子力製銑技術の動向にも注意を向けてゆく必要がある。

また環境に関しても、最近では、防熱、集塵を目的に改善が加えられている。例えば、原料荷揚から高炉装入に至る一連の発塵防止、集塵技術の進歩、排水処理技術の向上、所内発生粉の再利用、緑化推進等があり、さらに焼結工場の排煙脱硫やコークス炉ガスの脱硫等排煙中イオウ酸化物除去技術の開発実施も進んでいる。しかし窒素酸化物防止技術については、ボイラーを除いて実用化できるものはほとんどないため、現在鉄鋼連盟内に「鉄鋼業 NO_x 防除技術開発本部」が設置され、関連部門の総力を挙げて取組んでおり、その成果が期待されている。