



鉄の歴史

海外技術の吸収と 日本鉄鋼業の発展-10

高炉への微粉炭吹き込み技術の導入とその発展

Introduction and Development of Pulverized Coal Injection for Blast Furnace Operation

和栗眞次郎 元新日本製鐵(株)
Shinjiro Wakuri

緒言

日本での高炉への微粉炭の吹き込み技術 (Pulverized Coal Injection 以下PCI) は、第二次オイルショックの直後、米国より技術導入したが、生産の安定化、省エネルギー、コスト削減に効果を発揮したため、国内は無論、世界的にも急速に発展することとなった。本報ではその技術導入の背景、発展の経緯、そしてこの技術の今後の発展等について、筆者の経験を踏まえて幾つか述べたいと思う。

1 PCI技術導入の背景

1.1 PCI以前の複合送風

高炉の羽口部から粉コークス、ガス灰、天然ガス等を吹き込む研究は、第二次大戦以前から欧米で既に行われていた。1950年代、中東で大油田が発見・開発され、重油の価格が

高炉用原料炭より遥かに安い燃料になったことから、高価な米炭に依存していた我が国では高価なコークスを節減するため、また高炉の生産増に対応する技術として、高温送風、酸素富化、調湿等複合送風の必要性の認識^{1, 2)}、が高まっていたのと相俟って、各社一斉に早急な重油吹き込みが企てられた。重油は液体なので取り扱いが簡単で、制御性も良く、設備もタンク・ポンプにバーナーが有れば良く特に難題はないことから、1961年鋼管川崎3BFが第一号機としてスタート以来、同年度内には15基の高炉で吹き込みが行われた。1962年には、日本の高炉各社が共同でフランスのボンベイ社の日本特許を購入し、特許問題も解消し、BFI (Blast Furnace Fuel Injection) 委員会も結成され重油吹き込み推進に活躍した。Fig.1に示すように、その三年後の1964年には国内42基の全高炉で重油吹き込み設備が装備され大きな成果を挙げた。

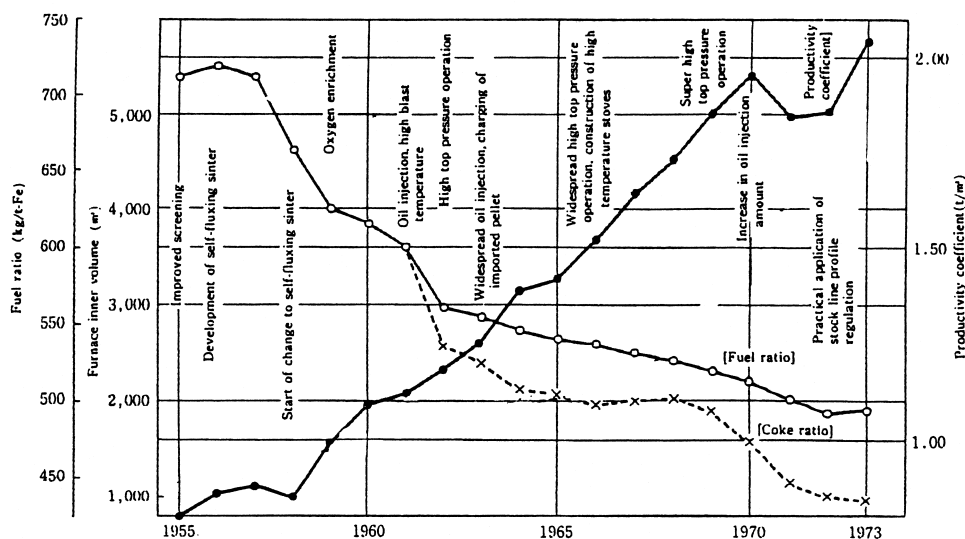


Fig.1 Transition of blast furnace operation in Japan (productivity coefficient and fuel ratio)

1.2 重油吹き込みの中断

1952年上吹転炉法が開発されて以来、1960年～1970年と右肩上がりの経済の発展に呼応し、平炉のLD転炉化が急速に進み³⁾、溶銑比率向上のニーズが一段と上昇してきた。Fig.2に示すように、製銑部門では高炉の大型化、高温、高圧化が推進され、多量重油吹き込みの複合送風効果と相俟って、低価格溶銑の高生産体制が構築されてきた。鉄鋼以外の産業においても石油化学や家電品、自動車に代表されるように世界的多量生産、多量消費時代⁴⁾に突入して行った。しかしこの異常発展に資源・環境・政治問題よりブレーキがかかり、第一次、第二次オイルショックとなり、重油価格は高騰し、高炉への重油吹き込みはわずか数十年の命で制限、断念せざるを得なくなった。

1.3 オールコークス操業の問題

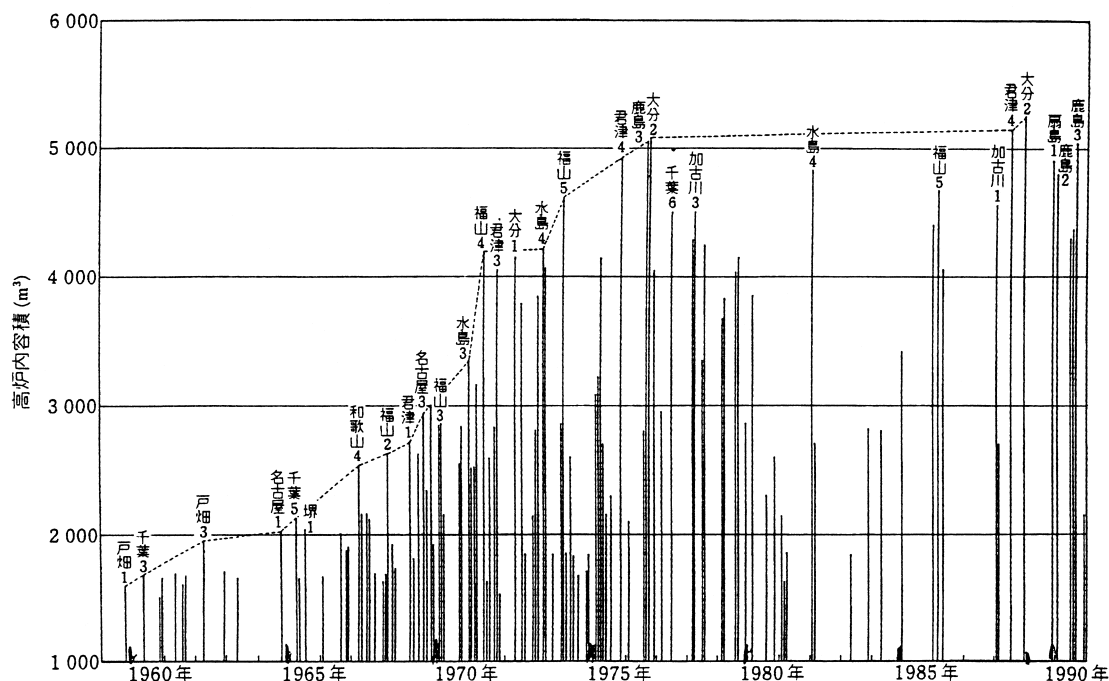
この時、高炉生産はもとのオールコークス操業に戻ればよいはずだが、各社なかなかうまく行かず苦勞した。

まず、羽口からの補助燃料のないオールコークス操業では、高炉の炉熱調整を炉上から装入する鉬石とコークスの比率変更で実施するため、その効果発現まではトラベリングタイム分の時間が必要であり、変動が激しくなること、効果発現が間に合わないと大変な事態も起こりうる。また、この時期に進めた高炉の大型化では、重油吹き込み前提でのプロフィール設計に成っており、(炉床径/炉高)が昔の小型高炉より大きくなっていった。更に、オールコークス移行にともなう羽口先温度の高温化でレースウエイが浅くなり、また、炉周辺部

の装入物の降下速度が相対的に速くなり、還元反応や伝熱が不十分で炉体下部に付着物が着くなど、炉下部に不活性ゾーンが形成され、炉の状態が乱れやすい。周辺部の還元負荷を過度に軽くすると、周辺流が強くなり炉体の損耗を進めやすく、一方中心部が重くなりすぎると炉心部が不活性となる。当初はかなり戸惑いもあり、部会の共通議題にも取り上げられた。その後、オールコークス操業用の分布調整や、調湿に慣れて来るに従い短期的には、そこそこの生産体制を維持できるようになった。もっとも、コークス需給、銑鋼バランスに余裕があり、かつ高炉ガス(BFG)が経済的に高評価される条件下では、オールコークス操業で思い切った低温・高湿分送風で、高コークス比、低出銑比の安定操業も有り得る。

しかし、長期展望に立てば、高炉本来の役割は、高効率・高位安定・省資源・省エネ生産であり、大型高炉の高温、高圧プロセスを支える重油に代わる安価な新たな羽口吹き込み燃料の導入が切望された。

第二次オイルショック以降しばらくは、重油の少量吹き込み、異常時のみ活用の間欠吹き込み、副産物のタールの活用、COG吹き込み、更にCOMの使用など、生産安定化の為種々のトライが行われた。しかし、長期安定燃料として資源埋蔵量、価格展望、取り扱い易さ等の観点から、一般炭の活用がクローズアップされてきた。



2 微粉炭吹き込み技術導入

2.1 PCI技術の歴史

高炉への微粉炭の吹き込みは、19世紀中頃に欧州のHaut-Marne製鐵所で行われたのが世界最初と言われている⁵⁾。その後1960年代にアメリカを主体に英国、ベルギー、ソ連等で盛んに実験検討が推進された。その結果、従来の機械方式からニューマチック方式が開発され、多量粉炭の搬送・分配機能が改善され、かなり信頼性のある技術に高められていった。丁度我々日本のために先行開発してくれたようなものであり、開発された技術を導入する事とした。代表的な微粉炭吹き込み技術は、1970年代当時微粉炭の各羽口への分配方式により三種類に大別される。

- ①Babcock／ARMCO方式 気送＋分配器タイプ
- ②Petro carb方式 加圧切出＋気送
- ③koppers／weirton方式 機械切出＋気送

2.2 導入技術の内容

以下、大分第一高炉に採用され日本第一号機と成ったARMCO方式に就いて紹介する。

ARMCOは1960年代の初めAshlandworks（高炉2基、Bellefonte、Amand）の出銑能力増強検討に当たり、全量コークス購入の条件下で最大量のコークス代替可能な燃料の選定検討が行われた。重油、天然ガス、石炭、スラリー等の内、製鐵所から100kmの近郊石炭の活用が最も合理的、経済的であるとの結論に達し、Babcock社と共同開発により先ずBellefonteで1966年1月よりPCIを導入し、さらに多くの課題を改善したdistributor方式PCIをAmanda高炉に採用した。その後、1973年3月より安定的に80kg／t.HMTの操業を安全に継続して来た実績を我々は高く評価した。

ARMCO方式の特徴的DesignConcept

- ①高圧々送、吹込ラインに機械的回転部分がなく、可動部分はオンオフバルブのみ。無用な損耗、故障トラブルを避ける。
- ②使用される気体は信頼性を確保するため循環使用しない。（Bellehonteのシステムで爆発災害の経験あり）
- ③PCIの羽口分配は流体の幾何学的対称流れの特性を活用したDistributorを高炉槽上部に設置し、各羽口への均等分配を行う。
- ④石炭の乾燥、粉碎、捕集は高炉安定操業の為すべて2系統の並列システムとし操業圧力は0.14気圧以下。またリザーバー槽（粉炭貯蔵）を設計、システムがダウンしても高炉へのPCIは5Hr以上平常操業可能とし高炉操業を大幅に乱す事のないシステム設計。
- ⑤人と設備を保護する安全に最大限の考慮を払う、PCと

搬送用エアー混合物の管内流速は50ft／sec以上の設計で、フレーム伝播速度以上を狙う他、配管、ホッパー内は勿論全ての個所で粉炭の堆積が生じないように流速、勾配、溶接仕上げに至るまで注意、特にHousekeepingと火災、爆発に対する抑制装置を設置。また耐圧基準はN.F.P.A（NationalFireProtection Association）の基準に準拠。

以上のDesign conceptに基づく詳細設計の基準並びに15年間の操業、作業経験をヒヤリングしながら1号機の設計を進めた。

2.3 第一号機開発の課題

ARMCOの実績技術を導入するとはいえ大分第一高炉とARMCO高炉では、設備、操業条件が違う。Table1に両者の比較を示すが、一般に高炉設計ではスケールファクターが大きく影響すると言われている。すなわち、高温、高圧、大型高炉に如何に適用可能な技術に開発し、以後の2号機3号機に継ぐかが最大の課題であった。そこで、幾つかのoffline, onlineの実験を重ね、その結果を建設設計に折り込む事とした^{6,7)}。

- ①微粉炭燃焼試験炉（Fig.3）により、石炭の銘柄、粒度、送風温度、圧力、O₂富化条件による燃焼性の各種テストを行った。Fig.4に代表的な結果を示す。
- ②石炭処理、搬送、制御等一連のシステム設計条件の確認の為、1ton／Hrのモデルプラント一式を第2高炉の機側に建設し、加熱乾燥破碎から高圧下での搬送の

Table1 Comparison of blast furnace operational condition and equipment for Oita No.1 BF and Ashland Amanda BF

Name of BF	Inner volume (m ³)	Blast temp. (°C)	Blast pressure (kg/m ²)	Tuyere vel. (m/s)	Tuyere numbers	Hearth dia. (m)
Oita No. 1 BF	4 158	1 300	4.5×10 ⁴	260	38	14.2
Amanda BF	2 040	900	2.0×10 ⁴	190	24	10.2

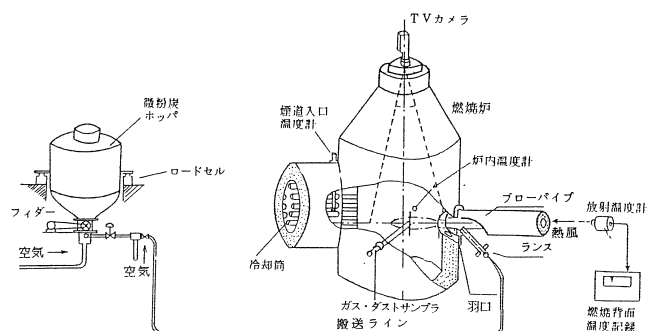


Fig.3 Furnace for burning experiments of pulverized coal

Dense, Dilute phase, フラッフイング効果、閉塞詰まり、パルセーション条件等基礎的各種テストを行いその結果を実機設計に反映した。

③高炉での微粉炭の燃焼は一般のボイラー炊き等と違い、強還元雰囲気隣接突入する特殊燃焼であり、周辺環境(レースウェイ)に及ぼす影響を含め実戦でのテストを実施する事とした。そこで、前記のモデルプラントから吹き込みラインを引き、第2高炉の羽口で1本吹込テストを行った。これに平行して、炉心、レースウェイゾンを第2高炉に開発・設置して、高压、高温下における燃焼観測を行いまた休風時のレースウェイのサンプリング分析を行い、多くの知見を得た。Fig.5に示すとおり、微粉炭の燃焼性は良く、吹き込み増と共に燃焼焦点は羽口側に寄ってくる。また、Fig.6と併せオールコークスと対比して重油ライクなレースウェイに近づいて来る等多くの事が確認された。

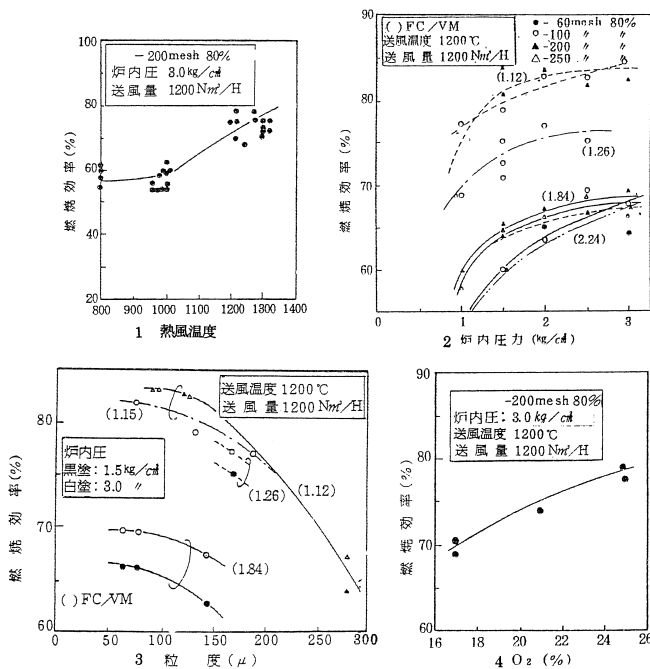


Fig.4 Effect of some condition change on PC combustion efficiency

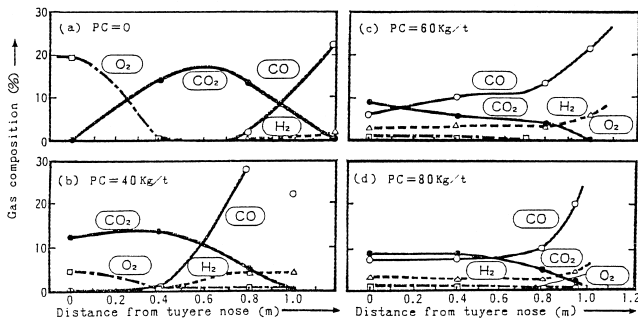


Fig.5 Gas composition profile in the axial direction of tuyere zone

④PCIで最も大切、かつ難しい技術は、如何に思い通りの量を脈動流なく各羽口に搬送するかである。ARMCO方式は流体の幾何学的特性(360度均等流を示す公園の噴水皮膜流)を生かし各羽口へ均等量を簡単に分配するDistributor法で行えるのを特徴とする。ARMCOでは羽口間の吹き込みバラツキは3~5%以内で可能との事であったが、大型高炉の大分では各配管長も長く抵抗差も有り、またARMCOの羽口24本の分配実績から5割増の大分38本の羽口でも均等に行けるか、もし均等に行かない場合の調整手段はあるのか等不安点があった。そこでオフラインで実機サイズの模型(Fig.7)を作り、Distributorの粉流体の流れ特性調査と分配精度の測定を、真っ黒になって人海戦術で行った。均等分配精度は38本でも σ 2%以内に収まり、かなり高精度が得られる事、パージが起こっても残りのラインでの分配精度は変わらない事は驚きであった。更に粉流体の挙動特性から、仮に差異があっても均一分配への調整は可能であることを確認し、さらに羽口毎のPC吹き込み量の制御の可能性も見出した。(但し、1号機では単純明快な均一分配方式で行く事とした。) Fig.8に実機での休風中測定分配精度を示す。

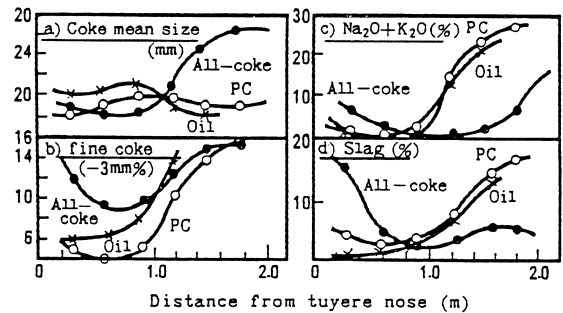


Fig.6 Properties of coke sampled at the tuyere level of Oita No.2 BF

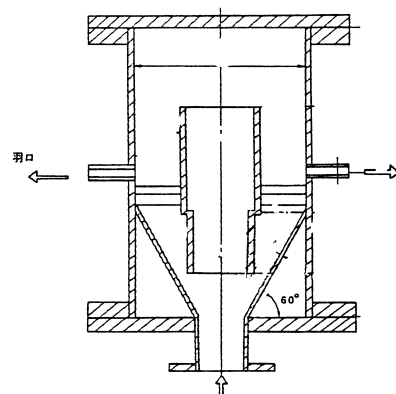


Fig.7 The vertical section of distributor

2.4 第1号機の立ち上げ操業

我が国最初のPCI設備は大分第一高炉に1981年6月に完成した。その全体システムをFig.9に示す。重油と違って turn down ratio (最大と最低許容吹き込み比率) が低いので設備能力は適性範囲を選定する必要があった。1号機では先ずは重油吹き込みに代わる高炉操業安定化技術の確立と不足コークスを補う事を主たる狙いとし、増産期の重油実績レベルかつAMANDA高炉の長期実績レベルの約80 kg/T-pigとした。従ってMill能力はMax25 T/H×2系列。Fig.10に立上げ1年半の推移を示すが、スタート後設備稼働、

吹き込み操業とも極めて順調であった。50 kg, 70 kgと微粉炭吹き込み量増加と共にFR, Si, S、も低下、順調に安定生産体制が構築された。1982年後半の不況減産下では、却ってPCを入れると増産になるので吹き込み量を抑制せざるを得なかった。

かくして、PCIは重油吹き込みに代わる、高炉の高効率安定操業を達成する武器であり、燃料比、コークス比の低減による省資源、かつ増産対応を可能にする貴重な技術である事が4000 m³の大型高炉で実証され、以後日本国内は勿論世界的に急速に採用されていく事となった。

3 PCIの普及

3.1 国内外のPCI建設進展

大分1高炉1号機の稼働以後、我が国では合同製鐵が独自開発中であったRotary feederによる定量切出し分割法を1982年よりスタートし、続いて米国petro carb技術を導入した神鋼がKobelco方式を加古川2高炉、神戸3高炉に1983年設置した。さらに1984年新日鐵/ARMCO方式が名古屋1高炉、日新呉2高炉に導入され、川鉄千葉5高炉では気送分配型のデンカ方式を開発スタートさせた。(配送管出口がpetrocarbのdown takeに対しup takeの違いはあるが基本原理に差はない) この様にコークス不足または外部より購入

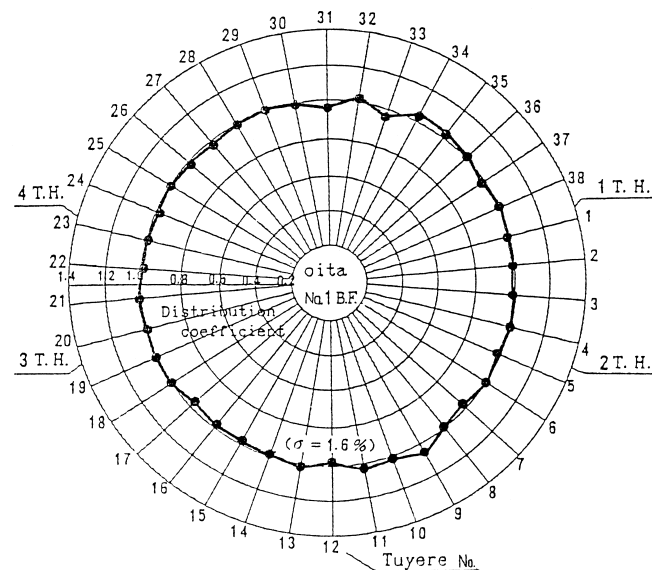


Fig.8 Pulverized coal distribution throughout tuyere lines around the furnace

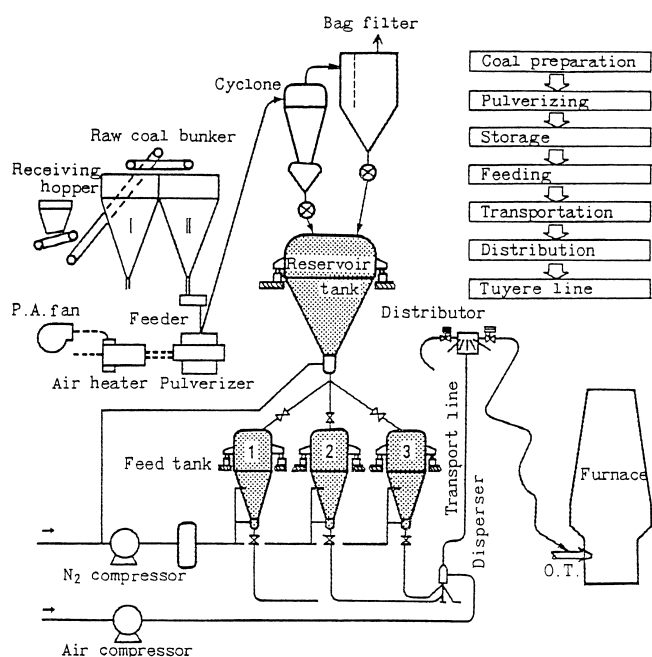


Fig.9 Flow diagram of PCI system for Oita No.1BF

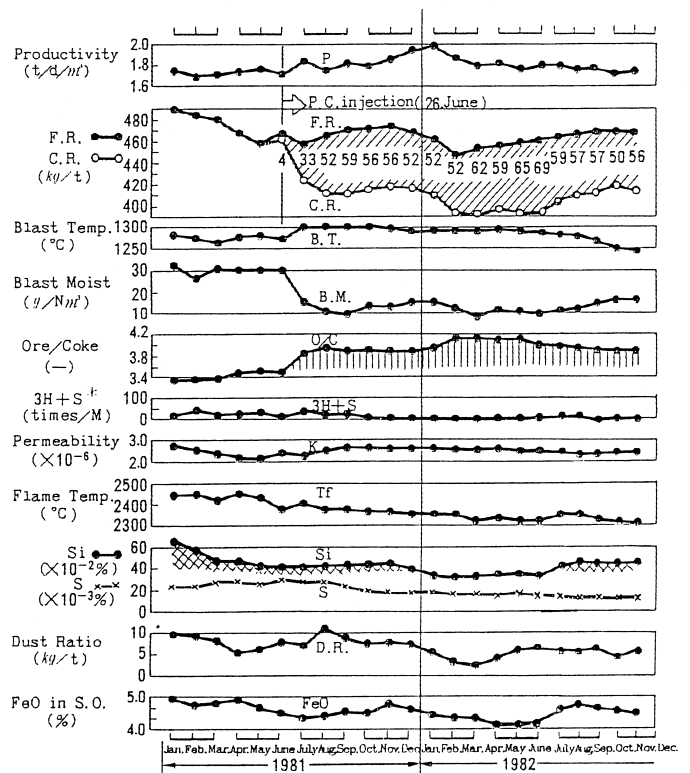


Fig.10 Transitional change before and after PCI operation at Oita No.1BF

する製鐵所を中心にPCI設備設置基数は急速に増え、1986年には16基と日本の50%、10年後には80%の25基の稼動となり、1998年9月NKK福山2高炉への導入で国内全高炉装備となった。

一方ヨーロッパでは1960年代より数基の小型高炉での実績はあったが日本の大型高炉でのPCI稼動発表後、Hoogovens Ijmuidenの調査団が大分を訪れ、高温高压の大型高炉での実績を調査確認後直ちにARMCO方式を導入、1983年から4000 m³高炉で稼動した。以後各国でも、大型高炉へ各種の方法の導入が相次ぎ、Fig.11⁸⁾に示すとおり、日本同様急ピッチでPCI高炉基数は増大した。すなわちBSC Scunthorpeでscrewfeeder切出しのSimonMacawber方式を1984年完成、Sollac DunkerqueがRotaryfeeder方式のP.WタイプとKloecknerタイプで1983年から開始し、1986年度には4333 m³の4BFでもスタート。

Thyssenは1985年からHambornでKuettner流量制御方式でスタートし1987年にはSchwelgarn1BF4402 m³に設

置、ILVA Taranto5BFの4200 m³にKloeckner方式と各社4000 m³クラスの大型高炉に次々と設置積極的に多量吹き込みに歩を進めてきた。

3.2 Injection systemの特徴

PCIは1980年代日本、欧州で急速な発展を遂げてきたが、その吹き込み方式についても若い技術だけに各種の開発・トライが行われた。特徴的な違いは輸送・分配方式にある。

そこで、世界の大型高炉に導入されている代表的なInjection Systemとその特徴をTable2にまとめて示す。

これらのシステムの最も大きな相違は、羽口毎の分配をフィードタンクの所で行うのかDistributorで行うのかに二分される。さらに、フィードタンク出側で分配する方式はpneumatic方式とmechanical方式に二分される。前者はフィードタンクでN₂で加圧・押し出されたDensephaseのPC流体に搬送混入する気体（エアまたはN₂）の圧量をコントロールする事により羽口毎のPC流量を制御する。後者はRotary feederやScrew feeder等でVolumetricなメカニカル切出しでPC量を決める。

一方Distributor方式も二つある。一つはPCの流れ方向に等圧損分配するOnewayDistributor（住友金属）と流体の幾何学的放射均一特性を生かしたRadial way方式の二つ。このDistributor方式はいずれも羽口配管の等圧損で均等分配を図るのは同じだが、等圧損を得る方法に、違いが有り面白い。ARMCO方式は各支管の圧損差が無くなるように各配管長を揃える等シンメトリックに設計する。従ってDistributorを高炉槽上に設置する。新PW, Kloeckner方式は出側にsonic speedを得る絞機構を設け高压損部を作る事により、各配管長差等により生ずる圧損差を無視し得るようにして均一分配流を狙う。従ってDistributorを低所の機側何所でも設置可能だが搬送気体の元圧力を高める必要がある。以上のようにそれぞれのシステムにより特徴が違うが吹き込

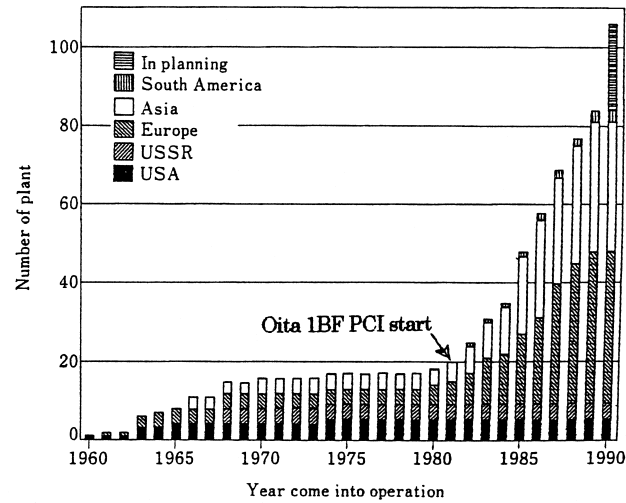


Fig.11 Pulverized coal injection plants operated through the world

Table2 Comparison of PCI Systemes for large BF in the world

法式名	分配/配送法式	気送濃度	流速	支管流量制御	適用	設備費
PetroCarb	Feed tank より直接 羽口別に配管気送	低	高	キャリヤーガス圧・量 (Down take)	NationalSteel 神鋼(kobelco) NKK	中
デンカ		低	高	同上(up take)	川鉄	中
Kuettner		高	低	同上+流量計	Thyssen	大
旧 PW		中	低	Rotary Valve	Dunkerque	中
SimonMacawber		低	高	Coal Pump	Scunthorpe	大
ARMCO	FeedTank →	低	高	等圧損配管均等分配	新日鐵 Hoogovens	小
新 PW	Mainpipe 経由 →	高	低	絞加圧損配管均等分配	Sidmor,SollacFos,NK	小
Klockner	Distributor →	高	低	同上	Dunkerque,Taranto	小
住金	羽口	低	高	Rotary Feeder+ 等圧損(one way)分配	住金	中

み精度（羽口間バラツキ）に就いては故障ではない限りみんな±2～3%と報告されており、大差はないと言われている。

支管流量制御機器、切出し装置の設備費、保守費等を考慮すると、本来円周方向均一炉内反応を目指す高炉操業において、単純明解で精度も良いDistributor方式の評価が見直されてきている。石炭の気送濃度・流速に各方式で大きな違いがあるが配管磨耗や脈動燃焼、また安全に対する考え方の違い輸送気体N₂、Airの、関連設備条件差等によるもので好ましいあり方については今後の実績も見ながら討てて行く課題である。

3.3 Oil injectionとPCIの違い

先ず重油には灰分はほとんどゼロでH分が10%、一方PCは灰分が7～11%有りH分は数%と少ない。当然発熱量に10000kcal/kg対7000～8000kcal/kgと20～30%の差があり、少量吹き込み操業領域でのコークスとの置換率は相当の差がある。しかし重油では吹き込み量を増やして空気比が下がるにつれて置換率はFig.12に示すとおり比例的に確実に低下、70～80kg以上では操業も変動が大きくなり置換率は1を大幅に切る。PCでは100kg前後で1.1～0.8だが、最近の更に吹き込み量を増やした100～200kgの各社実績統計⁹⁾では0.767と0.8弱がキープされている。

3.3.1 燃焼プロセスの差

Oil、PCともに空気比、O₂富化率、送風温度が高いほど燃焼性が良くなるのは同じであるが、未燃部分を残してレースウェイに入ってから挙動が違ふ。Oilの場合はレースウェイ内で高温クラッキングを起こし未燃炭素は細かなススと成り、炉内上昇ガスと共に炉頂迄一気に吹き抜け炉外へ排出されるものが多い。一方PCの方は5～6%の酸素を含有しているので、加熱時の初期反応は速くかつ揮発分放出に際し膨

張したバルーン状チャーを形成する^{10,11)}。この現象は粘結成分ビドリニット存在下でのコーキング反応に由来するものと考えられるが、バルーンは反応面積が大きいのでコークスと比較し反応性は極めて高い。故にレースウェイで燃焼し切れなくとも炉芯コークスや融着帯に一旦吸着されるが、つぎに優先的にFeOの還元やソリューションロス反応を起こし還元剤として有効に消費される¹²⁾。また粗粒コークスの細粒化も防止する事になり炉芯や炉床の通気・通液性を守ることにもなる。現に炉状態が良い時PCを多く入れても炉頂ガスやガス清浄にススは出て来ない。従って、PCはOilに比較し燃焼プロセスの差から見て遥かに多量に吹き込み易い効率的な還元剤とも言える。

3.3.2 操業上の熱流比の差

重油は石炭、コークスより発熱量が大きく、またH₂分が高く還元に寄与するので熱効率はよく、吹き込み増量と共に熱流比（炉内発生ガス単位当たり装入原料比）は上がり、炉頂ガス温度は低下する。熱効率は良いのでトータルの燃料比は下げ易いが、吹き込み量を増加させていくと炉頂温度が100℃を切って遂に露点に至り、附着物生成や分布障害の影響も出るので、増量を中止せざるをえない。吹き込みの上限がここで決まる。すなわち、低燃料比指向のOil操業では400kg近くまで燃料比を下げても、熱流比の関係から吹き込み制限を受け、コークス比は350前後が限界となる¹³⁾。PCI操業では熱流比が吹き込み増と共に下がって来るので、炉頂温度は上昇し、最近の統計⁹⁾では吹き込み増100kg/t-pigで+40～45℃と成っている。熱流比を上げる方向のアクションがむしろ必要でO₂富化、送風温度上昇、PC炭の発熱量up等を考慮すれば、熱流比上からの吹き込み量の制限はない。現状高炉法ではOil injectionのOilはあくまで補助燃料であったがPCIは後記する実操業上の課題を乗り切れれば、コークスと入れ替わりPCが主燃料の立場になる可能性が有る。

3.4 PC多量吹き込みへの展開

設備も順調に稼動し、PCも50～100kgと導入時初期設計値レベルを超し、高炉安定操業・コークス代替重油に代わる効果的な武器である事が確認されたが、次は如何に多量吹込めるようにするかが重要な課題になった。すなわち、日本鉄鋼業界では高度成長期に建設されたコークス炉は30年を過ぎた物が多く、今後老朽化に伴う生産量の減少問題及び改修、新設のための莫大な設備投資資金問題を抱えている。PCIの増量はCoke消費量減少につながり、コークス炉稼働率緩和による炉命延長に寄与する重要な役割を果たすと期待されている。高炉各社は1990年頃から未設置の福山、鹿島

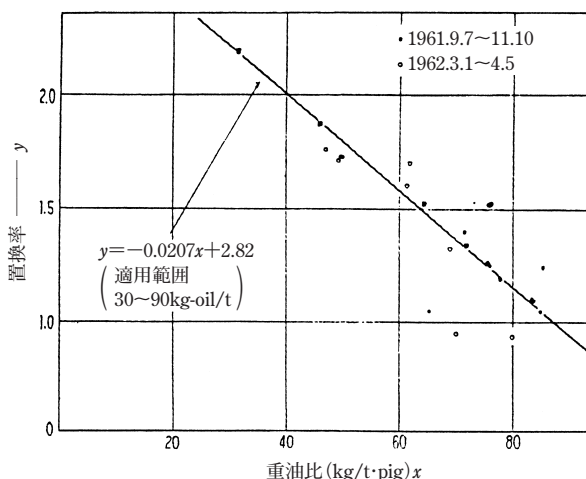


Fig.12 Relation between oil injection rate and coke replacement ratio

の大型高炉群を有す製鉄所が導入を開始、また既存製鉄所では設備能力の追加増強を図り100kg以上150～200kgを目指した取り組みが展開された。吹き込み量増加における技術開発課題は、①微粉炭の燃焼効率向上、②炉内反応円滑化の為の原料装入分布制御の改善開発、③原料鉱石、コークスの品質、性状改善の3つが大きな柱として取り組まれた。

3.4.1 微粉炭の燃焼効率向上

高温、酸素富化、拡散型バーナー、ダブルバーナー、偏芯吹き込み、バーナーポジションの前進化等が実炉でトライされ、羽口ゾンデ、炉心ゾンデでレースウェイ状況の観測が行われた。Offlineの実験炉でレースウェイ部を実炉ライクに再現、燃焼実験を行い大いに操業指針をサポートした。

3.4.2 装入分布制御技術の改善

従来からの炉内反応をより正確に推定する研究を進めていたが、微粉炭多量吹き込みでは、特にガス流、物流、還元温度分布に関する変化の推定が大切であり、各種のモデル開発が行われた¹⁴⁻¹⁶⁾。一方炉内反応の変更は装入分布アクションが主体で、これに伴う原料粒度、O/C分布等の変化を推定するmodelも開発^{17,18)}され実炉アクション前の事前バーチャルトライに活用された。またコークスの中心装入法の開発、細粒焼結、小塊コークスの選択的指定ポジション装入法等、これらの方法と従来からの経験とを併せ各種のトライがきめ細かに行われ、微粉炭多量吹き込みを推進した。

3.4.3 原料の品質、性状の改善

PC多量化では炉内のO/Cが高くなるので特に通気障害が起こらないように焼結鉱の粉化を抑えるTIの上昇、RDIの低下、溶け落ち性状が良くなるような被還元性の改善について取り組まれた。粒度偏析装入装置の改善^{19,20)}、分別造粒、アイリッヒミキサー等により劣質粉鉱分別造粒^{21,22)}による改善、被還元性の良いHPS法の開発²³⁾、焼結ベッドのCTスキャン²⁴⁾での解析等品質改善にむけた種々の取り組みが行われた。

コークスは炉内の通気通液の要をなすため、特に高O/C操業では粉化防止と炉内での細粒化防止が大切であり、DI及びCSRの向上が切望された。コークス品質改善のため、原料炭の配合調整・選択粉碎、成形炭配合、調湿炭装入の推進等が企てられた。

以上の個々の技術内容の殆ど全ては、鉄鋼協会や鉄鋼協同研究会の製鉄部会またはコークス部会で発表されており、また多量吹き込みとそれらの関連についても、「鉄と鋼」1992年No.7特集号、1995年No.4特集号、2002年製鉄部会資料に丁寧にまとめてあるので参照戴きここでは詳細省略する。

3.4.4 PCI吹き込みの増大と主要指標

前記のような開発努力の結果、我が国のPCIの成績は向上した。吹き込み量とコークス比の平均推移ならびに摘要高炉基数をFig.13に示す。推移の特徴を個別に見ると、1990年11月に神戸3BFが150kgを越し、1994年4月加古川1BFが200kgをクリアー、1998年3月に同じく250kgを突破する等好成績を挙げている。次にPCに関連し、PCR 100kg/t-p以上の高炉の代表的操業指標の日本の最高水準を示す。

	時期	製鐵所	PCR	CR	FR	出銑比
最大 PCR	98.6	福山 #3BF	266	289	555	1.84
最低 CR	99.3	神戸 #3BF	214	288	502	2.06
最低 FR	94.3	大分 #1BF	122	342	464	1.95
最大出銑比	97.1	名古屋 #1BF	137	350	487	2.63

参考までに海外を見ると、PC量ではHoogovens 6BFが265 中国宝山1BFが261でトップの福山に肉迫、燃料比ではDunkerque4BF 483、FOS1BF 487。コークス比では、宝山1BF 249.7が群を抜いており注目に値する。尚小型高炉だが、中国首都鉄鋼会社の第一高炉でPCR 279 (CR336)の月間記録が有するという情報もある。

高炉の志向する操業指標の重みづけはその会社、製鉄所の銑鋼バランス、コークス供給能力、ガスバランス等により個々に違い、また時代と共に変化するので一概に言えない。しかし一般論としては、高出銑比、低燃料比下でのPC多量吹き込み+低コークス比操業が、低コスト高生産、省資源、省エネ、省CO₂ (環境改善型) の立場から21世紀型の方であろう。この観点から現高炉法に限って見れば、PC250kg以上 (導入時の3倍)、コークス比250kg以下と主客交替し

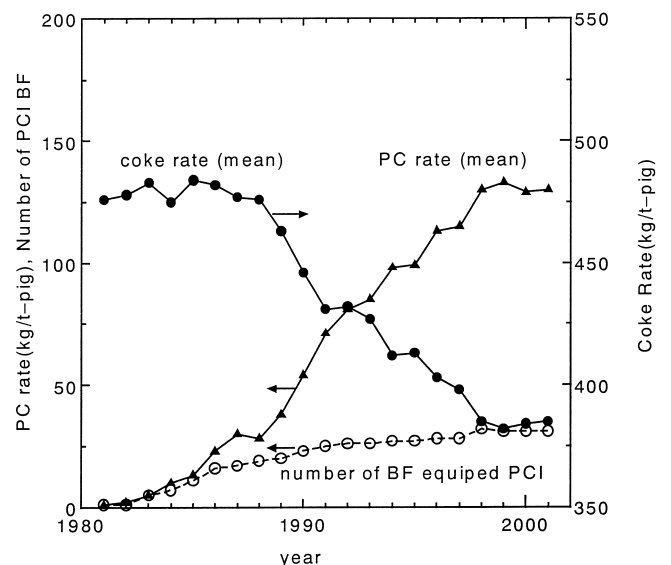


Fig.13 Change in PC rate and Coke rate

た姿の生産を長期安定継続する技術を作り上げる事が当面の課題であろう。将来的には、高O₂富化で、難焼結性粉鉱やフラックスを多量のPCと共に吹き込む複合送風複合吹錬法で生産弾力性が高くかつ、レスコークスプロセスの開発、実践化等PC技術の発展の夢は尽きない。

4 PCI技術の発展

PCI技術の特徴の一つは固体を安定的に定量吹き込み出来る事であり、燃料の他、石灰石、ドロマイト等のフラックス剤、粉鉱石、砂鉄等々の吹き込みテストや理論検討が各種行われて居るが実用化に発展したものに、廃プラスチックの吹き込みがある。

NKKが熱心に取り組みPCの燃焼機構のパルーン化の特性を応用して廃プラを小粒に造粒して、羽口より吹き込む技術を開発し²⁵⁾更にPCの特性を生かしPCと混合燃焼すると燃焼効率が極めて好転する²⁶⁾等廃プラの有効処理の環境改善技術として社会に大きく貢献している。

高炉のレースウェイを活性な製錬空間として活用する研究実験が数多い。その狙いは

- ①劣質粉鉱を塊成化プロセスを通さず直接処理して全体のコスト削減を図る。
 - ②フラックスの投入で、低Si、低S化成分調整を図る。
 - ③炉底保護の為、砂鉄を任意に入れる。
 - ④レースウェイに鉱石の一部を分けて入れ、炉頂装入のO/Cを下げ通気の改善を図り生産の安定化。
- これらの狙いの実現を図る為の課題は、
- ①吹き込み物が未反応（還元、滓化等）で終わった場合の通気、通液の阻害原因にならない為の追跡、見きわめ。
 - ②熱バランスと高温を確保する為の安価酸素の確保と効果的プラズマ技術などの活用
 - ③粉体特性に応じたハンドリング技術の確立。
 - ④粉体吹き込みの狙いに対応した混焼PC銘柄の適性評価選別。

等々が必要であろう。

巻頭に述べたように1960年代の高炉のレースウェイは安定高生産の為複合送風を求め、ルーキーの主役としてOil injectionが台頭し、成果を挙げた。その後オイルショックを経て1980年代からPCIに主役を交替した訳だが、21世紀のPCI技術の発展はレースウェイに複合吹き込みを行い、溶鉱炉を複合吹錬炉に変革させる可能性を迫っており、その夢と期待は大きい。

参考文献

- 1) 日本鉄鋼協会，鉄鋼協同研究会，第15回製鉄部会，鉄15-3講演資料，(1960)
- 2) 稲原敏雄：鉄と鋼，49 (1963) 9，63.
- 3) 下村泰人：20世紀は鋼の時代，(2001)，9.
- 4) 佐伯康治：物質文明を超えて，日本エネルギー学会編，13.
- 5) D.S.Gathergood and G.Cooper：Steel Technology International，(1988)，83.
- 6) 川辺正行，和栗眞次郎，馬場昌喜，石川泰，長谷川晟：鉄と鋼，68 (1982)，2393.
- 7) S.Wakuri，M.Baba，K.Kanamori：Ironmaking and Steel making，10 (1983) 3.
- 8) H.W.Gudenau，B.Korthas，R.Kiesler and L. Birkhäuser：Stahl Eisen，110 (1990) 11，35.
- 9) 日本鉄鋼協会共同研究会，第92回製鉄部会資料共通議題
- 10) 出口幹郎，柴田耕一郎，福岡正能：鉄と鋼，76 (1990)，49.
- 11) 山口一良，上野浩光，：鉄と鋼，78 (1992) 7，260.
- 12) 岩永裕治：鉄と鋼，77 (1991)，71.
- 13) 和栗眞次郎，金森健，白川充祉，若山昌三：鉄と鋼，66 (1980)，121.
- 14) 杉山喬：第94・95西山記念技術講座，(1983)，131.
- 15) 杉山喬，須賀田正泰：製鐵研究，325 (1987)，34.
- 16) M.Naito，K.Yamaguchi，T.Sugiyama：10thPTD Conference Proc AIME，(1992)，55.
- 17) 奥野嘉雄，国友和也，入田俊幸：鉄と鋼，72 (1986)，783.
- 18) 奥野嘉雄，松崎真六，国友和也：鉄と鋼，73 (1987)，91.
- 19) 福田隆博，姫田昌孝，前洪栄一：鉄と鋼，70 (1984)，30.
- 20) T.Inazumi，M.Fujimoto：Iron and Steel Congress，(1990)，110.
- 21) 肥田行博：鉄と鋼，81 (1995)，263.
- 22) 芳賀徹三，大塩昭義，肥田行博：鉄と鋼，83 (1997)，233.
- 23) 坂本登，野田英俊，岩田嘉人：鉄と鋼，73 (1987)，1504.
- 24) 稲角忠弘，笠岡俊次：鉄と鋼，78 (1992)，107.
- 25) 日本鉄鋼協会生産技術部門，第92回製鉄部会，鉄92-6-1自5，(2001)
- 26) 村井亮太，佐藤道貴，有山達郎：材料とプロセス，15 (2002) 4，859.

(2003年2月10日受付)