

製鉄技術開発の歩みと今後の展望

Development of Iron-making Technology

高松 信彦* 栗原 喜一郎
Nobuhiko TAKAMATSU Kiichiro KURIHARA
加来 久典
Hisanori KAKU

圃中 朝夫 斎藤 元治
Asao HATANAKA Genji SAITOH

1. はじめに

1970年代にかけての高度な成長から、1973年と1979年の石油危機以後、先進国の経済が停滞、鉄鋼生産も停滞する中で、製鉄の置かれた環境は大きく変化した。それに対応した過去30年の技術開発の歩み、また、今後の展望を紹介する。

1985年のプラザ合意による円高誘導に伴い、我が国の鉄鋼業界では、設備集約、傾斜生産体制等の合理化が行われた。新日本製鐵においては、釜石製鐵所(以後製鐵所を省く)2基、堺1基、八幡1基、広畑1基の各高炉を停止した。また1990年代はバブル経済崩壊、円高進行により鉄鋼需要が低迷する一方で、地球温暖化、廃棄物規制等の環境問題が顕在化した。

2000年代に入ると、世界レベルで鉄鋼業の再編、設備集約が進み、①鉄鉱石シッパーの統合:2000年には12社以上あったシッパーがVALE, Riotinto, BHP-Billitonの3社に再編され、世界の約70%のシェアを有するまでに巨大化、②鉄鋼メーカーの統合と巨大鉄鋼メーカーの誕生:2002年Arcelor, 2003年JFEスチール, 2004年Mittal, ③鉄鋼メーカー間の提携:国内自動車、家電業界の海外進出に伴う特殊鋼材の現地調達などを目的とした新日本製鐵-Arcelor-中国宝山製鉄合弁会社設立、新日本製鐵-POSCOとの戦略的提携など、世界の鉄鋼業界は大きく変化した。

さらに、2005年以降になるとBRIC'sを中心とした中進国の経済成長とともに、日本の鉄鋼生産も徐々に増加した。

以上のような環境の変化の中で開発された主要な製鉄の技術項目を以下に述べる。

2度のオイルショックを受けて、1982年8月には稼働高炉42基すべてがオイルレス操業に移行したものの、PCI(Pulverized Coal Injection)設備が、1981年6月当社大分製鐵所第1高炉での導入以来急速に普及し、1998年には国

内全高炉に設置され、平均吹込み量は130 kg/tに達した。

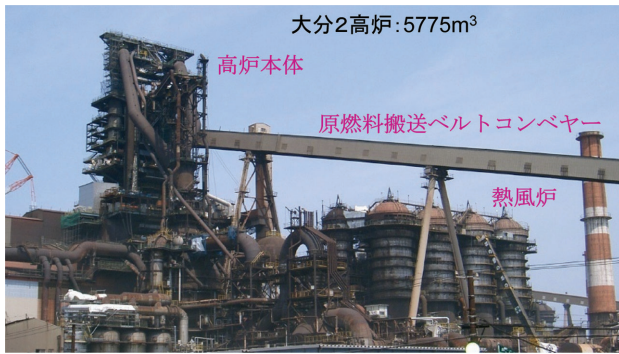
1990年代の鉄鋼業は、厳しい環境下で、事業を存続させるための下記に示す合理化対策技術やコスト低減技術の開発を精力的に進めた。

①製鉄各工程の制御システム導入と自動化、②微粉炭多量吹込み技術、すなわち微粉炭の燃焼性改善、装入物分布制御、粉流体の挙動を含めた炉下部現象の解明、低SiO₂焼結法など焼結鉱およびコークスの造込みと高炉評価技術など、③高炉およびコークス炉での処理プラスチック使用技術、④ピソライト多量使用技術、非微粘結炭多量使用技術など低廉原燃料使用技術、⑤焼結機、CDQ(Coke Dry Quenching)最適運転化、連続式アンローダー、コークス炉自動化、高炉短期改修など省力化、⑥高炉、コークス炉の延命対策技術などの長寿命化、⑦回転床式還元炉(RHF)によるダスト処理、焼結機排ガス循環等の環境対応技術、⑧代替鉄源製造技術、溶融還元製鉄法(DIOS)、次世代コークス炉(SCOPE21)等の新プロセスの開発、⑨VENUSの開発、高炉トータルモデルの精度向上等の炉内可視化技術、などが大きな成果である。

2000年代に入り、上記技術開発の実機化拡大を進めつつ、BRIC'sの経済成長に伴い、高炉の高生産技術の開発と高炉の大型化が進められている。例えば、当社の場合、2000年以降、名古屋3高炉(以降名称はBF)(3 424→4 300 m³)、君津3 BF(4 063→4 822 m³)、室蘭2 BF(2 296→2 902 m³)、君津4 BF(5 151→5 555 m³)、大分2 BF(5 245→5 775 m³:当時世界最大の大型高炉、2004年5月火入れ)のように高炉拡大改修を実施し、昨今の高炉増産要請に応えている(写真1)。特に、当社は高炉1基当たりの生産効率を高め、かつ低還元材比操業を指向してきた。

労働生産性については、ここ10年の間に約2倍となり、約1 600 t/人/年と非常に改善された。これは高炉の集約や大型化、さらには省力化設備の導入、設備の自動化や合理化、加えて操業改善の結果である。

* 執行役員 製鉄技術部長 東京都千代田区丸の内2-6-1 〒100-8071

写真1 大分2高炉(内容積5775 m³:当時世界最大)

時々の課題に対して、高炉を筆頭に各設備の高生産対応技術、資源の劣質化対応技術、設備の寿命延長技術、また地球環境対応技術、エネルギー削減技術の開発に取り組んでいる。以下、代表的な技術開発に関し概要を述べる。

2. 高炉技術の開発の状況

2.1 高炉への微粉炭吹き込み技術の開発

わが国の高炉技術発展過程において羽口からの還元材吹き込みの歴史は古く、1961年には東田高炉においてCOG(Coke Oven Gas)吹き込み試験が、また同年NKK川崎高炉においては重油吹き込み試験がなされていた。1962年にはわが国の高炉12社が仏ポンペイ社から一斉に重油吹き込み技術の導入を行い、国内高炉38基中の半数以上の高炉で重油あるいはガス吹き込みを実施し、1964年には国内全42基の高炉において重油吹き込み設備が装備され操業改善に大きな成果を上げた。この後も重油代替燃料として、タール吹き込み試験、ナフサ吹き込み試験(広畑)、微粉炭スラリー吹き込み試験(室蘭)、重油と微粉炭混合吹き込み(室蘭)、石炭スラリー吹き込み試験(室蘭)、COM(石炭重油混合燃料)、微粉炭吹き込み等の各種炭材の吹き込み試験及び操業が確立されていった。また、高炉シャフトからの還元ガス吹き込み(FTG法、広畑)も操業試験がなされた(表1)¹⁻⁹⁾。

日本における微粉炭吹き込み設備の第一号機は、1981年6月に当社大分第一高炉に設置された。微粉炭吹き込みは1960年代にアメリカを主体に実験検討が推進され、1970年代には微粉炭の羽口への分配方式により大きく3種類に集約されており、その中で機械的稼働部分が少なく、羽口への均一分配を基本とするARMCO方式が採用された。大分での微粉炭吹き込み設備の建設は、2000m³のARMCOの小型高炉の技術を4000m³超の日本の高温、高圧の大型高炉に適用可能な技術に開発するとともに、以降の2号機3号機に繋ぐ使命もあった。実機に先立ち1ton/hのモデルプラント一式を設置し、石炭処理、搬送、制御一連の設計条件の確認を実施、また当時の2高炉で羽口1本吹き込み試験を行いレースウェイ内での微粉炭燃焼に関する

表1 羽口等からの燃料吹き込みの歴史
(当社トピックスを中心に)¹⁻⁹⁾

| 西暦 | トピックス |
|------|---|
| 1954 | 調湿送風試験(東田) |
| 1959 | 酸素富加試験(広畑) …LD(Linz Donawitz製鉄所起源)転炉採用で安価な酸素使用が可能となったことによる |
| 1961 | COG吹き込み試験(東田)、重油吹き込み試験(川崎) |
| 1962 | 重油吹き込み技術導入(仏ポンペイ社→鉄鋼12社) タール吹き込み試験(川崎) |
| 1963 | ナフサ吹き込み試験(広畑)、重油吹き込み(戸畑) |
| 1964 | 微粉炭スラリー吹き込み試験(室蘭) |
| 1967 | 酸素アトマイズバーナ採用(広畑) 重油と微粉炭混合吹き込み(室蘭) |
| 1969 | FTG法(還元ガスのシャフト吹き込み)試験(広畑) 石炭スラリー吹き込み試験(室蘭) |
| 1971 | 大気湿分操業 |
| 1972 | 本格的酸素アトマイズバーナ(呉) |
| 1974 | 脱湿送風設備採用(広畑) |
| 1979 | COM(石炭重油混合燃料)開発開始 |
| 1981 | 国内初PCI操業開始(大分1BF)、高炉のオイルレス操業定着 |
| 1982 | 国内全高炉40基のオイルレス操業化 高炉還元材比400kg以下達成(福山3BF 396kg/t) |
| 1993 | PCR(Pulverized Coal Ratio) 200kg/t到達(君津) |
| 1994 | 全国平均PCR 100kg/t到達 |
| 1997 | 年平均CR(Coke Ratio)が400kg/tを割り込む |
| 1998 | PCI記録250kg/t超達成 (加古川1BF 254kg/t、福山3BF 266kg/t) 日本国内全高炉へPCI適用(水島2BF、福山3BF PCI稼働) |

基礎知見を得、実機立ち上げに反映した¹⁰⁾。

微粉炭吹き込みは高炉の高効率安定操業を達成する武器であり、還元材比、コークス比の低減による省資源、かつ増産対応を可能とする技術であることが内容積4000m³の大型高炉において実証され、以降、各社各高炉において急速に採用されていくこととなった。また、各羽口間での微粉炭の吹き込み量を積極的に調整する偏差吹き込み設備技術も開発され、大型高炉の円周バランスの均一化調整に寄与している。

図1¹¹⁾にわが国の還元材比、コークス比、補助還元材比の推移を示す。重油吹き込み操業では操業の著しい改善があったものの重油比はせいぜい100kg/t-p近傍であり、従ってコークス比は450kg/t-p程度が平均的な限界であった。一方、微粉炭吹き込みは、1998年頃には微粉炭比130kg/t-p、コークス比370kg/t-pに到達し、最大吹き込み高炉では月平均で微粉炭比266kg/t-p(NKK福山3BF、1998年6月)の記録がある¹²⁾。当社は低還元材比、高微粉炭吹き込みの技術開発を進め、名古屋3BFにおいて2011年3月に月平均微粉炭比189kg/t-p、コークス比299kg/t-pの最大微粉炭比及び最低コークス比を記録した。現在、この技術を社内全高炉に展開中である。

この様に微粉炭吹き込み操業は、①迅速な炉熱制御によ

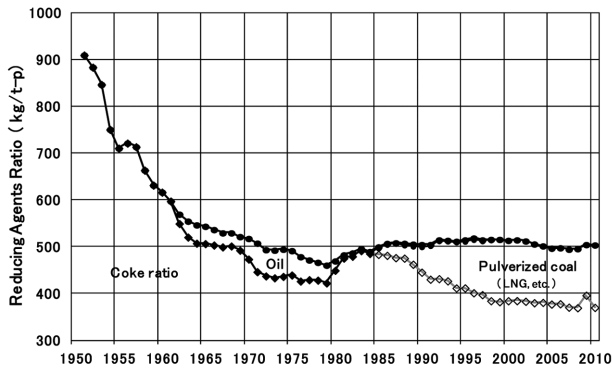


図1 日本の還元材比, コークス比, 補助還元材比の推移¹⁾

る高炉操業の安定化, 低コークス比操業による溶銑コストの低減, ②コークス所要量低減によるコークス稼働率の低下, 即ちコークス炉寿命延長等の目的で高炉所用に対してコークス製造量が不足する製鉄所において積極的な微粉炭吹き込み量の拡大が実施されてきた。また, 長期安定燃料として資源埋蔵量の豊富な一般炭の活用, 価格の有利性, 取り扱いの容易さ等の観点から開発がすすめられ, 多量吹き込みの時代を迎えるにいたった。

2.2 高炉炉内を知り“見える化する”開発

この高炉炉内状況の造り込みを支える技術の一つに, 炉内をよく知り, 炉内を見えるようにしようとする取り組みがある。高炉炉内の反応は固体, 液体, 気体の錯綜する複雑な反応であり, その解明は操業管理上きわめて重要と考えられてきた。1968~1971年にかけて東田5高炉, 広畑1高炉, 洞岡4高炉の解体調査^{13,14)}を行い, 融着帯の存在及び形成状況, 炉内ガス流れ, レースウェイ構造, 炉底構造などを解明し, 特に融着帯の整然とした存在とガス分配機能としての重要性を認識した(図2)。高炉の大型化に伴い, 炉内装入物分布制御及びガス流れ分布の把握やガス流分布調整に力点が置かれるようになってきた。

その中で, 炉内を推定する2次元数学モデル(BRIGHT:高炉トータルモデル, RABIT:装入物分布推定モデル等)の開発, 融着帯の検出技術の向上のための各種検出端開発

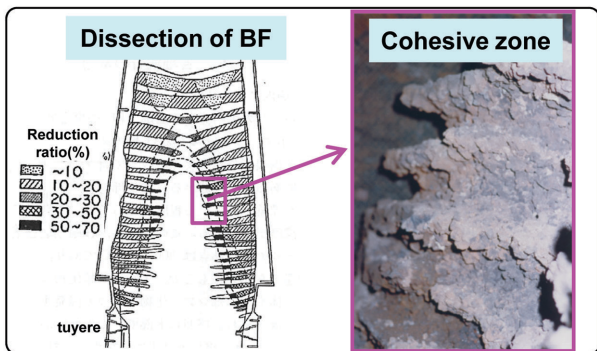


図2 解体調査での融着帯 (左図:広畑1BF, 右写真:名古屋1BF)

と実炉適用(炉頂ガスサンプラー, シャフト上・中部ガスサンプラー, 炉腹ゾンデ, 炉芯ゾンデ, 垂直ゾンデ, プロフィールメーター, 炉口層厚計, シャフト下部短尺ゾンデ等)を行ってきた(図3)¹⁵⁻¹⁹⁾。

高炉内部を実際に“見る”ことは非常に困難なため, 当社では従来から, 炉体のステープ(冷却装置)に設置した温度センサー(約500個)と, 装入物の充填状況, ガスの流れを検知するシャフト圧力センサー(約20個)により, 炉内の状況をデータ化し表示する取り組みを行ってきた。2004年にはセンサーデータを平面的に表す“2次元VENUS”の開発に成功し, 2007年には, 秒単位で3次元データ化表示できる“3D-VENUS”の開発に成功し, 名古屋1高炉で初めて採用し, 順次各製鉄所への導入を進め, 操業の安定化に寄与している(図4)²⁰⁾。

また, 最近では宇宙線ミュオンを利用した高炉内部の直接観察技術の開発に東京大学地震研究所(当時, 高エネルギー加速器研究機構)と連携して取り組んでいる。宇宙線

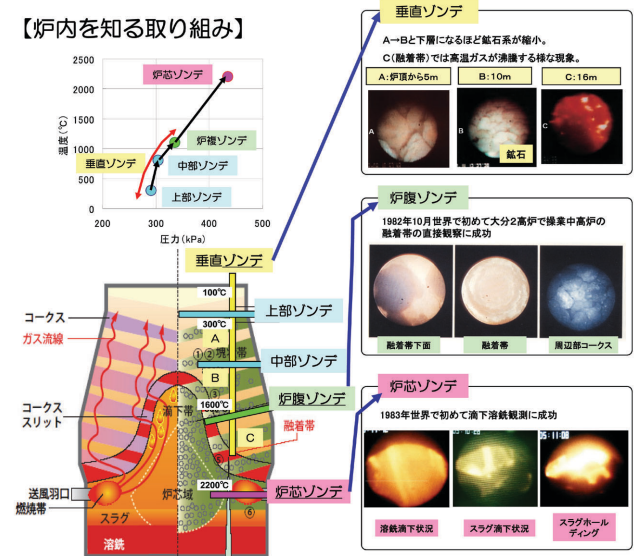


図3 新日本製鉄高炉における炉内を知る取り組み¹⁷⁻¹⁹⁾

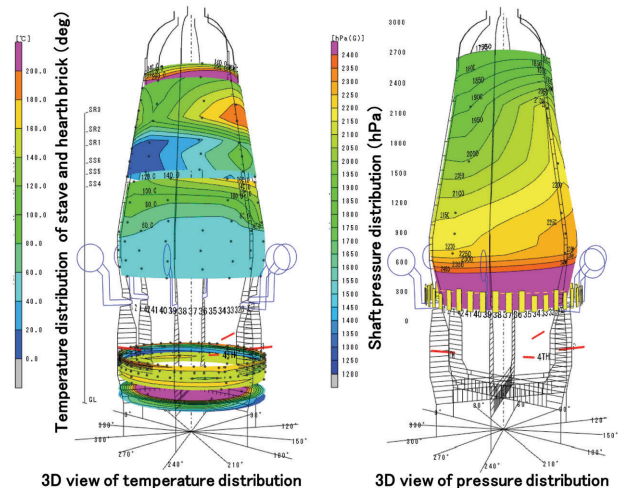


図4 3D-VENUSの表示例²⁰⁾

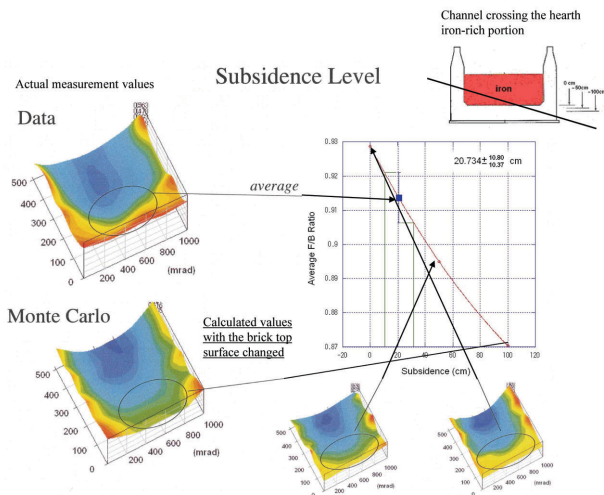


図5 溶鉱炉炉底れんがが損耗量の推定^{21,22)}

ミュオンとは素粒子の一つで、一次宇宙線（陽子、電子）が大気圏に届く際、 π 中間子と k 中間子ができ、すぐに崩壊してミュオン、ガンマ線、ニュートリノなどの素粒子となり地球上に降り注ぐ。ミュオンは強い透過力を持ち、物体を通過するときのミュオンの透過量と減衰度合いを測ることにより、物質内部の構造を計測することができる。当社はこの方法で炉底密度を測ってれんがの損耗量を推定したり、高炉内部の状況をより詳しく把握し、操業の安定化にも寄与する方法を研究している（図5）^{21,22)}。

3. 原料技術の開発の状況

3.1 焼結機大型化技術

高度成長期の大型高炉稼働に対応した焼結機の大型化では主にパレット幅拡大と機長延長を組み合わせた焼結面積拡大が進められた。特に最大幅である5m化はインシュレーションピース等の対策で始めて実用化された。当社初の5m幅パレットを採用した君津3焼結機（以降名称はDL（ドワイトロイド式焼結機）は焼結面積500m²（5m×100m）の世界最大焼結機として1971年に稼働した。その後、大分2DL（1975）、当社最後の新設焼結機である若松DL（1976）は共にパレット幅5m、機長120mで設計され600m²となり当時の世界最大焼結面積記録を更新した。この時期に当社の焼結機大型化の基本技術が確立した。

これらの大型焼結機には当時の最新鋭技術が織り込まれた。主なものは、①500mm超の高層厚操業に対応した-19.6kPaの高負圧ブロワーの設置、②焼結機の稼働率向上に欠かせない成品系統稼働率安定化の為に系統2系列化採用（大分2DL、若松DL、室蘭6DL）や冷却機後の成品中継ホッパーの装備（室蘭6DL）等の対策がなされた。これらの装備は現在でも安定的な高稼働率維持の基盤となっている。③大量の焼結鉱の冷却には従来の円型吸込方式冷却機では設計上の限界が有る事から君津3DLで初めて円型押込式が採用され省スペースの効率的な冷却が可能

となった。同時に押込式は漏風も減少できる事から冷却機排気筒ガス温度の上昇も可能となり、後年の省エネルギー対応では高効率の冷却機排熱回収設備実機化の道を開いた。④環境問題の対応として焼結機から排出される大量の主排気ガス処理には従来のサイクロンでは限界がある事から君津3DL以降は電気集塵機が標準装備になった。その後、集塵効率を高めるために移動電極型電気集塵機も戸畑3DLに導入（1991）され、社内および社外焼結機に展開された。

焼結機大型化の時期に導入された特徴ある新技術に若松DLの二段装入技術（1978稼働）がある。これは上層着火、下方吸引の現在の焼結方式の欠点である上層と下層の熱のアンバランスを軽減し効率的な焼結を実現する世界初の技術である。このように当社の焼結鉱生産は高炉大型化に対応し1976年には焼結面積は最大の4582m²に拡大し、1980年には最大の52Mt/年の焼結鉱生産量を達成した。

3.2 省エネルギーへの対応技術

1970年代の二度に渡るオイルショックが製鉄工程に及ぼした影響はエネルギー価格高騰とその後起こった世界的な鉄鋼需要減退による減産であった。高炉稼働基数削減が進められ、堺1BF（1982）、室蘭1BF（1984）、釜石2BF（1985）の休止に対応して焼結機の生産レベルは大幅に低下する事になり堺1DLは1982年に休止した。また各高炉がほぼ同時期に重油吹き込みからオールコークス操業に移行しRAR（Reducing Agent Ratio）は上昇したが、高炉はガス発生炉として高炉ガス（BFG）の増発生が期待された。その結果、被還元性が焼結鉱よりも低い塊鉱石使用が優先され焼結鉱と塊鉱石が置換された事も焼結鉱生産量減少に繋がった（図6）。

当時、焼結機は減産と同時にコスト削減も求められた。特に進められたのは点火炉の効率化によるCOG原単位削減である。この活動は当社内のみならず鉄鋼他社間のCOG原単位低減競争にまで広がった。基本的な考え方は従来の大型点火炉での高い炉内温度による雰囲気着火から

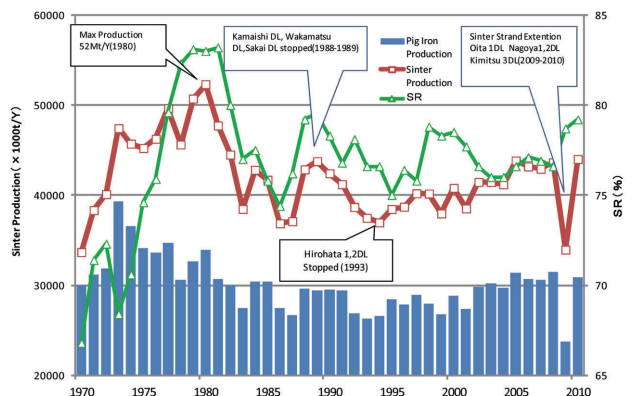


図6 新日本製鐵の焼結鉱生産量推移

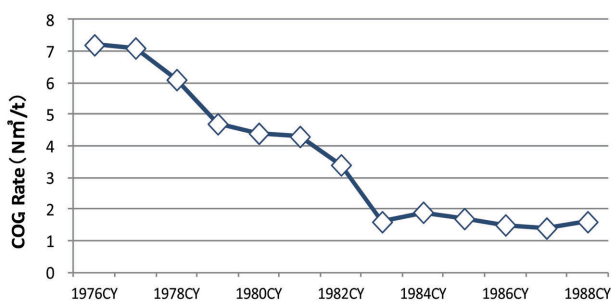


図7 点火炉COG原単位推移

バーナー火炎による直接的な上層着火への大きな方針転換である。点火炉容積の縮小改造とセットで行われ、点火バーナー形式もスリットバーナー、面燃焼バーナー、ラインバーナー等各社特徴のある方式が導入された。その結果、当社のCOG原単位は大幅に低下しそれまでの焼結鉄1トン当たり数Nm³レベルから1Nm³前後に低減した(図7)。広畑1DLでは0.48Nm³(1988)の記録があり、これは現在でも世界のトップレベルである。

次に着目したのは焼結鉄1t当たり約30~40kWh使用している電力原単位低減である。焼結機の電力原単位の約半分は主排風ブロー電力が占める。生産レベルに応じてランナー径の縮小や高効率の三次元翼への改造がほぼ全焼結機で行われた。さらに本来の焼結機能力に対して生産が大幅に下回る事になった戸畑3DL、釜石1DL、室蘭6DL、大分2DL等、全15基中6基ではランナー径縮小に加えてVVVF(Variable Voltage Variable Frequency control)等の回転数制御を導入し抜本的に電力原単位を削減した。特に室蘭6DLでは歩留を維持しながら300mm前後への層厚低下も実施し主排風電力原単位を大幅に改善しトータル電力原単位でも13.1kWh/t(1991)を達成した。

この時期に焼結機で実施された省エネルギー対策で忘れてならないのは排熱回収である。焼結プロセスにおいて必要な焼成エネルギーは焼結鉄1トン当たり約1500MJであるが冷却機から約400MJの熱が大気に放出されている。しかしその高温部の温度は冷却機形式により250~450℃と幅があるが、いわゆる中低温レベルであり、点火炉エア予熱での利用以外はエクセルギー的にも再利用しにくい。しかし押込式冷却機の場合は400℃前後の高い温度を安定して得る事が出来るため大規模な再利用が実現できる。若松DLでの熱水式発電設備(1979)に続き、君津3DLでは低沸点媒体を利用して焼結機としては当時世界最大規模となる時間当たり13MWもの電力回収を実現²³⁾した(1981)。近年は室蘭6DLで蒸気回収設備が稼動した(2010)。戸畑3DLでは、焼結機排ガス循環が実施され所要風量の大幅削減に加えて冷却機および主排気ガスの顕熱回収が実施された(1992)。

また1980年代前半は、高炉はオールコークスでの低出銹比操業であり、その結果、低温熱保存帯が拡大する事か

らRDI(Reduction Degradation Index)改善が急務となり各所で蛇紋岩の微粒化によるRDI改善操業を指向した。最初はロッドミルによる粉砕(八幡,大分,1980)が実施されその後、より微粒化(1mm以下>85%)の対応としてローラーミルが導入²⁴⁾され(君津,1981)、名古屋にも展開(1982)された。しかし蛇紋岩細粒化に起因した焼結生成スラグの融点上昇による焼結鉄歩留への影響が明らかになり中断された。現在、RDI制御は焼結反応に影響を与えないCaCl₂の焼結機系外添加方式を基本として君津で2008年に実用化している。

3.3 環境対策技術

1960~1970年代の高度成長の一方で深刻な問題になった公害問題の克服技術について述べる。1970年後半より高まった大気汚染への対応は焼結機の存続に関わる重要な課題であった。光化学スモッグ対策として移動発生源としての自動車のNO_x規制が強化され、並行して固定発生源である産業用排気ガスへの規制として焼結機主排ガスに対し、NO_x排出濃度が既設設備は260ppm以下、新設焼結機は220ppm以下に規制される事になった。焼結機で発生するNO_xは燃料の粉コークス中のNに由来するFuel NO_xが大半であり加熱炉等の燃焼で発生するThermal NO_xとは根本的に発生メカニズムが異なる。

当社はNO_x低減の為に全社研究開発体制の下、焼結反応プロセスの効率化、特に粉コークスの燃焼性改善によるNO_x低減を目指した。焼結用原料の造粒性を改善し粉コークスをより高温で燃焼させNO_xを低減する事である。具体的にはミキサーを増設して造粒性を高める一方、粉コークス分割添加技術を導入(名古屋1,2,3DL,君津3DL,大分1,2DL)した事である。これは粉コークスを一次ミキサーと二次ミキサーとの間に添加する方式であり、過度の造粒により粉コークスが鉄石中に埋没し燃焼性が阻害する事を回避する技術である。

特に重要な対策は増産を目的に既に洞岡DL(1969)で実用化されていた生石灰の活用である。生石灰が増産と同時にNO_x低減にも有効である事を発見し環境対策としての生石灰使用がスタートした(1978)。これらの技術により造粒性は飛躍的に改善され当社焼結機はNO_xを抜本的に低下させる事に成功した^{25,26)}。

この生石灰使用を含む造粒改善技術は現在もなお焼結増産の基本技術である。逆境を乗り越えるべく開発し新たな製造技術を生み出した典型的な例である。

この焼結機主排気ガスのさらなるクリーン化を目指し当時電力用に開発が進んでいた活性炭式乾式脱硫脱硝設備(DDS)を国内で初めて名古屋3DLに導入した(1987)。DDSはそれまで主流であった湿式ではなく乾式処理が特徴である。同時に発生する物質も炭材や石膏、硫酸として容易に再利用出来る事から、名古屋1,2DL(1999)、大

分1 DL (2003), 君津3 DL (2004) と建設が続く事になる。これらは現在すべて安定的に稼働しており焼結主排気ガス環境対策の基盤となっている。

3.4 効率的な焼結操作を目指して

焼結機はペレットのような造粒整粒とは異なる破碎整粒方式である事から成品粒度調整時の粉発生により成品歩留は通常70%台と低かった。そこで大分の現場活動に於いて1980年頃にペレット内部のシッターケーキ調査が行われた。その結果、上層部とサイドウォール周辺部はその他の部位に比較し歩留が大幅に低い事が初めて定量的に明らかにされた²⁷⁾。これを解決すべくペレット断面の層厚方向のヒートパターン改善等、種々の試みがなされた²⁸⁾が、結局広畑で開発されたスリットバー式装入装置²⁹⁾の導入によるペレット層厚方向の粒度偏析制御が対策として実用化された。

この技術は粒度偏析と同時にカーボンも偏析させる事で着火性改善によるCOG原単位改善も可能であり、名古屋、君津、大分の焼結機に導入された。続いて開発されたのが焼結ベッド内の通気網構造改善技術である。これは粒度偏析と同時に分散型装入を可能にしたISF (Intensified Sifting Feeder) 式装入装置³⁰⁾として若松 DL で実証試験を経てプロパー化された (1987)。ISF は焼結成品歩留を約4%改善出来る事から君津1 DL (1987), 戸畑3 DL (1988), 室蘭6 DL (1988), 君津3 DL (2000) で採用され当社の焼結装入装置の基本となった。現在では国内外の鉄鋼他社にも採用されている。

このISF技術は1989年の大河内生産賞を受賞した。

3.5 資源対応技術の進歩

当社の使用鉄鉱石の大半を占める豪州産鉄鉱石は1990年代前半まではBrockman層からの鉄鉱石が主体であった。微粉部分に高融点の脈石が濃縮している事から豪州産鉄鉱石を大量に使用していた堺製鉄所では焼結反応制御上、大きな課題であった。この解決の為に1990年頃に開発された技術が選択造粒³¹⁾ (第5章5-2参照)であり大分2 DL (1994) に最初に導入された。その後、高 Al_2O_3 原料対策として戸畑3 DL (1996), 大分1 DL (1997), 君津3 DL (2002) にも展開されている。この選択造粒技術は1998年の大河内生産特賞を受賞した。

近年、当社の主力の豪州産鉄鉱石は需要と資源量のバランスから大きく変化している。Hamersley社 (現在のRio Tinto社) ではBrockman層のHematite 鉄鉱石に1994年よりMarra Mamba層の鉄鉱石Marandooの混合を開始し、2002年からはWest Angelas 鉄鉱石がMarra Mamba層の初の単味鉛柄鉄鉱石として出荷開始された。特に最近では高P-Brockman層の鉄鉱石がかなりの比率で混合されている事等、資源変化のスピードは速い。特に操業への影響が懸念されたのは豪州産鉄鉱石の褐鉄鉱化と微粒化である。造粒性が低い特性

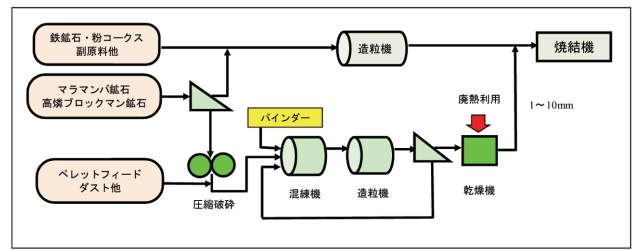


図8 SPEX IIプロセスフロー³²⁾

を持つ微粒の増加で焼結生産能力低下懸念がある事から造粒性改善対策として有機バインダーの使用が実用化、さらに強固なミニペレット製造開発に適用されSPEX II設備 (図8)³²⁾として八幡で稼働 (2008) し、原料劣質化に対応している。

3.6 焼結増産技術の進歩について

当社の焼結生産量は1980年にピークを迎えた後、オイルショック後の減産、プラザ合意後の大幅な高炉の休止を経て1993年には当社焼結面積合計は最小の3646m²となりピーク時の75%以下に低下した。その後、鉄鋼需要回復による高出鉄操業対応と高炉操業安定化の面から高SR (Sinter Ratio) 操業を指向した結果、焼結機は生産能力増強が求められた。特に高炉の能力に対して焼結機能力の小さい名古屋と君津の増産対策が急務となった。焼結機の増産手段は主に焼結進行速度アップと成品歩留向上で進められ、当初は焼結機の通気改善を活用する焼結面積拡大で対応した。先ずペレットの基本構造を流用しグレート面を拡張した吸引面積増加を優先し、最初に名古屋1, 2 DL で実施 (3.5→4.0m幅, 1997) し室蘭6 DLを除く全焼結機で実施した。さらに焼結機の機長延長にも取り組み、全社合計で966m²の面積拡大を実現した。中でも君津3 DLは2009年に焼結機機長を127mに延長し拡張実施済みのペレット幅5.5mと合わせて焼結面積が世界最大の700m²となった (写真2)³³⁾。

焼結機増産に対しては新技術開発も進められた。ペレットにスタンド式グレート幅方向で2~3枚取り付け、そ



写真2 君津3 DL機長延長 (給鉄側)³³⁾

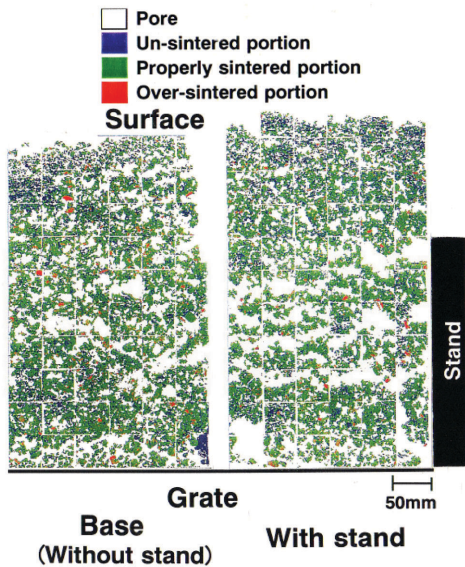


図9 シンターケーキ構造の変化(パレット高さ方向のCT像)³⁴⁾

れにより焼成完了した上部のシンターケーキを支持する事で下層の未焼成領域の通気を維持するスタンド焼結技術(図9)³⁴⁾開発がその一つである。この技術は約7%の増産効果が得られる事から君津3DLへの最初の導入(1997)を経て社内展開し、現在は国内鉄鋼他社にも採用拡大中である。

一方、歩留改善は未だ大きな改善余地がある事から今後も重要課題として取り組んでいく必要がある。

また近年の中国需要の急拡大により鉄鉱石資源動向は質的にも量的にも急激に変化しており、価格体系の変化のみならず今後予想される資源動向に対応できる新しい塊成化技術の開発が必須であり、鋭意推進しているところである。

4. コークス技術の開発

4.1 石炭資源対応力向上技術

当社ではこれまでに石炭資源の有効利用を目的として装入炭の乾燥システムに取り組んできた。1983年に大分製鉄所で装入炭水分を5~6%程度に調整した後にコークス炉に装入する調湿炭装入法(CMC: Coal Moisture Control)の実機化を³⁵⁾、1992年に装入炭水分を約2%まで乾燥した後にコークス炉に装入する微粉塊成炭配合法(DAPS: Dry-cleaned and Agglomerated Precompaction System)の実機化を開始した^{36, 37)}。DAPSプロセスでは、流動層乾燥機によって石炭が流動層乾燥機で分級され、微粉炭は成型機で塊成化された後に、粗粒炭と混合され、コークス炉に装入される(図10)。乾燥による高密度化でコークス強度を向上させるとともに、微粉の塊成化で石炭水分低下による搬送過程及びコークス炉への装入作業中の発塵を抑制して、環境対応力を高めた³⁸⁾。

CMCでは従来の乾燥しない装入炭(湿炭)に対して安価で資源的に豊富な非・微粘炭を約10%、DAPSでは約30

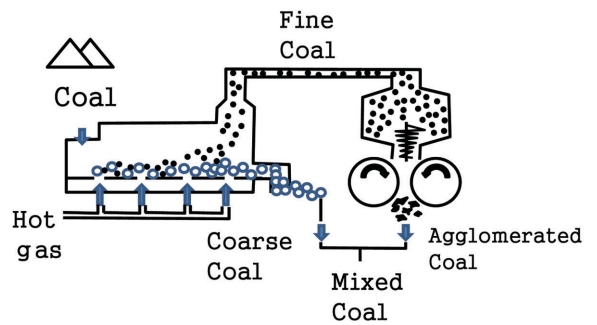


図10 DAPSプロセスのフロー

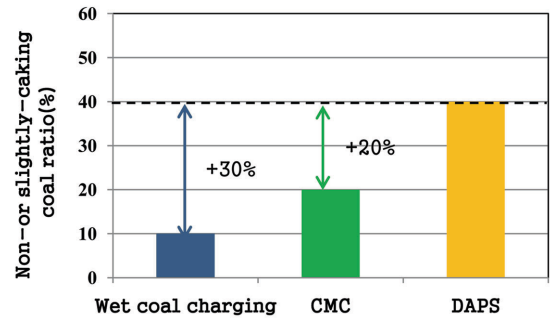


図11 非・微粘炭使用比率の比較³⁹⁾

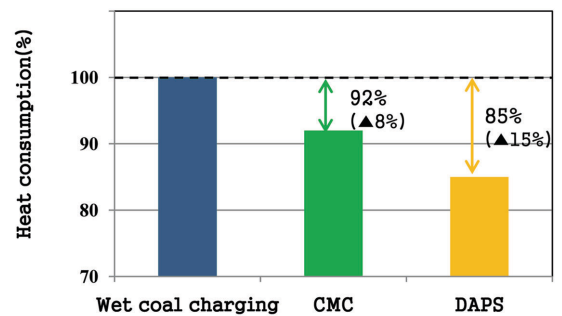


図12 エネルギー使用量の比較³⁹⁾

%増使用する事が出来る(図11)^{36, 38, 39)}。また省エネルギー化にも有効であり、CMCでは乾燥しない装入炭に対して約8%、DAPSでは約15%のエネルギー使用量の削減に寄与できる³⁹⁾(図12)。

装入炭の水分を乾燥する取り組みは、当社の各製鉄所で順次実機化し、現在はほぼ全てのコークス炉に適用済であり、石炭資源の有効活用に大きく貢献している。

近い将来、さらに石炭資源中の良質な粘結炭が逼迫することが予想され、さらなる石炭資源の有効利用および省エネルギーに大きく貢献する技術を開発していく。

4.2 コークス炉延命対策技術

当社における現在稼働中のコークス炉の炉令は、最高47年、平均38年に達し、近年徐々に老朽化が進行しており、コークス炉寿命延長技術は最重要課題となっている。延命のためには炉壁損傷部の早期発見および定量的診断による計画的な補修が必要であるが、従来のコークス炉炭化



写真3 炭化室診断・補修装置(DOC)全景

室の補修は、オペレーターが目視観察を行い、その情報に基づいて人力補修を実施するものが主であった。

当社ではこれらの課題を解決する開発に取り組み、2003年に大分製鉄所で1200℃の熱間で高精度に炉壁を診断、補修する装置(DOC: Doctor Of Coke oven)を実機化した(写真3参照)。

当社では、DOCを全コークス炉に標準装備化中である。既に5箇所の製鉄所に9機の設置を完了しており、君津製鉄所に設置中である10機目をもって、標準装備化が2011年に完了する予定である(詳細は第2章2-5参照)。

4.3 新コークス製造プロセスSCOPE21の開発

SCOPE21 (Super Coke Oven for Productivity and Environment enhancement toward the 21st century) は、省エネルギー、資源対応、生産性、環境対応をコンセプトに経済産業省の国家プロジェクトとして1994年に調査研究が開始され、2002年から2003年にかけて名古屋製鉄所構内に設置されたパイロットプラント試験操業を得て、2008年に大分製鉄所で新設したNo.5コークス炉で実機化した次世代型コークス製造プロセスである。

SCOPE21は、装入炭を乾燥と同時に微粉炭と粗粒炭に分級した後、急速加熱を行い、高温のまま微粉炭塊成と搬送を行い、約250℃でコークス炉内へ装入するプロセスであり、装入炭の水分はほぼ0%まで乾燥される(図13)⁴⁰⁾。

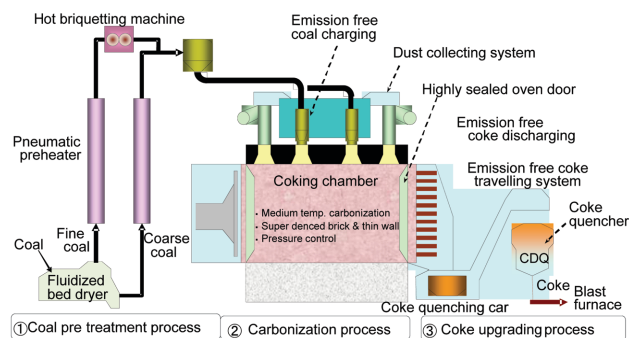


図13 SCOPE21のフロー⁴⁰⁾

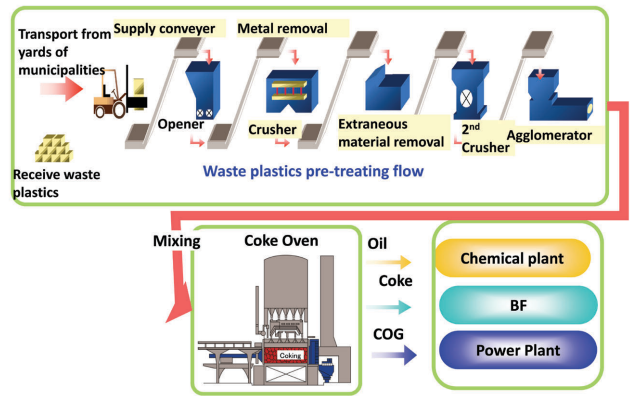


図14 廃プラスチックの処理設備およびコークス炉化学原料化プロセスフロー^{45, 46)}

環境対策として、加熱炭の密閉輸送方式採用による発塵・発煙抑制、コークス炉に新燃焼構造バーナーを用いる事によるNO_x低減を図っている。このSCOPE21型コークス炉の稼働により、従来の1/3のコンパクトな設備で(3倍の生産性)、年間40万tのCO₂削減、さらに低品位の非微粉炭の使用率を拡大できた。生産性向上に加えて、省CO₂と資源問題を緩和する複合的な効果がある。

当社では、現在名古屋製鉄所に2号機を建設中であり、2013年稼働開始予定である。

4.4 廃プラスチック化学原料化技術

当社は循環型社会の構築に向けて、コークス炉を使用した廃プラスチックの化学原料化技術を開発し、2000年に世界で初めて実機化した⁴¹⁻⁴⁴⁾。

自治体などから集荷された一般廃棄系の容器包装プラスチックは、事前処理設備で破碎処理された後、塊成化し、約1%石炭に混合され、コークス炉で熱分解される(図14)^{45, 46)}。熱分解した廃プラスチックはコークス約20%、タール、軽油等の油分約40%、コークス炉ガス約40%に転換され、コークスは高炉で、油化物はプラスチック等の化学原料として、ガスはクリーンエネルギーとして発電所等で利用される⁴⁷⁾。

2000年の名古屋・君津製鉄所の実機化から、現在は5箇所の製鉄所で処理が行われており、設備能力は25万t/年に達している。再資源化量は、全国の容器包装プラスチックの約3割に相当する量で、単一企業の受入規模としては世界最大であり、省資源に貢献している。

5. まとめ

製鉄を取り巻く資源や環境の問題は今後も一層厳しくなる。また、近隣諸国との競合も強まる。加えて、今後は次のような課題も顕在化すると予想される。即ち、既存の改善技術では溶銑コスト削減に限界に到達、既存設備の老朽化が進展、世界的な資源確保の量・質的困難性の顕在化、地球温暖化対策やリサイクル社会構築に向けた環境規制へ

の対応強化, 更なる合理化の要求等, が強まる。

これらの課題を解決するために新たな視点による技術開発を進めている。例えば, ①山元での事前処理を含む原燃料の改質による高炉での還元溶融負荷の大幅軽減, ②設備集約と高効率化, ③製鉄部門から発生する副産物の高付加価値化, ④石炭改質プロセスや静脈系プロセスとジョイントした鉄製造法によるリサイクル社会への貢献, ⑤人材の育成と確保, 自動化の推進 などである。

これらの課題を確実に解決するために, 山元や多分野との協力, 大学や研究機関との連携を緊密にして, 変化の早い時代にマッチした新技術を構築して行く。

参考文献

- 1) 日本鉄鋼協会:わが国における製鉄技術の進歩. 1977, p.193
- 2) 鉄と鋼. 81 (4), N191 (1995)
- 3) ふえらむ. 10 (14), 358 (2005)
- 4) 影近博:ふえらむ. 11 (5), 267 (2006)
- 5) 影近博:ふえらむ. 12 (5), 257 (2007)
- 6) 日本鉄鋼協会 生産技術部門:ふえらむ. 13 (5), 283 (2008)
- 7) 日本鉄鋼協会 生産技術部門:ふえらむ. 14 (5), 272 (2009)
- 8) 日本鉄鋼協会 生産技術部門:ふえらむ. 15 (5), 244 (2010)
- 9) 日本鉄鋼協会 生産技術部門:ふえらむ. 16 (5), 289 (2011)
- 10) 和栗真次郎:ふえらむ. 8 (6), 371 (2003)
- 11) 日本鉄鋼連盟
- 12) 丸山太一 ほか:CAMP-ISIJ. 11, 834 (1998)
- 13) 下村泰人 ほか:鉄と鋼. 62 (5), 75 (1976)
- 14) 今田邦弘 ほか:鉄と鋼. 67, S50 (1981)
- 15) 松崎真六 ほか:新日鉄技報. (384), 81 (2006)
- 16) 樋口宗之 ほか:製鉄研究. (325), 44 (1987)
- 17) 入田俊之 ほか:鉄と鋼. 69, S84 (1983)
- 18) 芦村敏克 ほか:鉄と鋼. 72, A9 (1986)
- 19) 芦村敏克 ほか:鉄と鋼. 80 (6), 457 (1994)
- 20) Nippon Steel Monthly. 37 (2008.11)
- 21) Nippon Steel Monthly. 29 (2008.11)
- 22) 篠竹昭彦 ほか:鉄と鋼. 95 (10), 665 (2009)
- 23) 阿部 ほか:鉄と鋼. 68 (11), S803 (1982)
- 24) 齋藤 ほか:鉄と鋼. 68 (11), S799 (1982)
- 25) 菅原 ほか:鉄と鋼. 62 (11), S420 (1976)
- 26) 肥田 ほか:鉄と鋼. 63 (4), S53 (1977)
- 27) 高松 ほか:鉄と鋼. 70 (4), S28 (1984)
- 28) 高松 ほか:鉄と鋼. 70 (4), S761 (1984)
- 29) 佐々木 ほか:鉄と鋼. 70 (4), S30 (1984)
- 30) 稲角 ほか:鉄と鋼. 77 (1), 63-70 (1991)
- 31) 芳我 ほか:鉄と鋼. 70 (4), S16 (1984)
- 32) 日本特許出願 2005-137474. 2005年5月10日
- 33) 川崎 ほか:CAMP-ISIJ. 23, 946 (2010)
- 34) 樋口 ほか:新日鉄技報. (384), 28 (2006)
- 35) Wakuri, S., Ohno, M., Hosokawa, K., Nakagawa, K., Takanohashi, Y., Ohnishi, T., Kushioka, K., Konno, Y.: AIME45th Ironmaking Conference Proceedings. 1986, p.303
- 36) Nakashima, Y., Mochizuki, S., Ito, S., Nakagawa, K., Nishimoto, K., Kobayashi, K.: Proc. 2nd International Cokemaking Congress. London, 1992, p.518
- 37) Tanaka, S., Okanishi, K., Kikuchi, A., Yamamura, Y.: AIME 56th Ironmaking Conference Proceedings. 1997, p.139
- 38) Itoh, S., Sanada, T., Tanaka, S., Nakagawa, K., Yamamura, Y., Nakano, K., Nakagawa, Y.: CAMP-ISIJ. 7, 115 (1994)
- 39) Okanishi, K., Itoh, S.: CAMP-ISIJ. 7, 986 (1994)
- 40) 日本鉄鋼連盟:SCOPE21パンフレット. 3 (2003)
- 41) 加藤健次 ほか:金属. 71 (4), 331 (2001)
- 42) Kato, K. et al.: ISIJ Int. 42 (Supplement), S10 (2002)
- 43) 加藤健次:日本エネルギー学会誌. 81 (3), 174 (2002)
- 44) Kato, K. et al.: J. Mater. Cycles Waste Manag. 5, 98 (2003)
- 45) 野村誠治 ほか:日エネルギー学会誌. 81 (8), 728 (2002)
- 46) 野村誠治 ほか:日エネルギー学会誌. 82 (3), 143 (2003)
- 47) 加藤健次:ふえらむ. 8 (12), 890 (2003)



高松信彦 Nobuhiko TAKAMATSU
執行役員 製鉄技術部長
東京都千代田区丸の内2-6-1 〒100-8071



斎藤元治 Genji SAITOH
製鉄技術部 マネジャー



栗原喜一郎 Kiichiro KURIHARA
製鉄技術部 部長



加来久典 Hisanori KAKU
製鉄技術部 マネジャー



圃中朝夫 Asao HATANAKA
製鉄技術部 マネジャー