

巻 頭 言

副社長 今井卓雄



当社が1953年に千葉第1高炉の火入れを行い、平炉メーカーから戦後初の一貫高炉メーカーとして、高炉操業に携わってから実に28年後の1981年に第1回製鉄特集号が刊行された。高炉の操業技術の発展は、当初、経験工学から出発したが、化学工学的プロセス解析を積み重ね、再度にわたるエネルギー危機後の低成長時代に入って行った高炉の解体調査でようやく高炉内のプロセスの理解が深まった。高炉の実操業において幾度かの厳しい試練を経験したが、この間のハード、ソフト両面での技術開発の蓄積により、海外への技術輸出を含め、内外にその成果を問えるまでに進歩した。

1980年代以降、高炉の安定操業の確立、経済操業の追求に注力し、顕著な成果が得られるようになった。高炉プロセスはその制御が送風条件の変更、原料装入方法の変更などの限られた手段に依存していることを思う時、高炉操業の基盤は設備の信頼性の向上と総合的な操業管理レベルの向上とにより築かれると考えている。

製鉄分野は原料となる鉄鉱石、石炭を海外に依存しているため、世界の政治、経済の変動が技術進歩のトリガーとなりうる。変化の激しい大競争時代を迎え、一層迅速な技術開発を進め、高炉の安定操業を基盤とした経営の安定化へ寄与をすることが製鉄分野に期待されている。

本第3回製鉄特集号は1993年の第2回製鉄特集号（製鉄・2次精錬特集号）以降の技術進歩について、原・燃料コストの低減を中心に競争力強化のための諸活動の成果の一端を紹介しておりますが、読者の皆様のご参考になれば幸いです。今後一層のご支援とご鞭撻をお願い申し上げます。

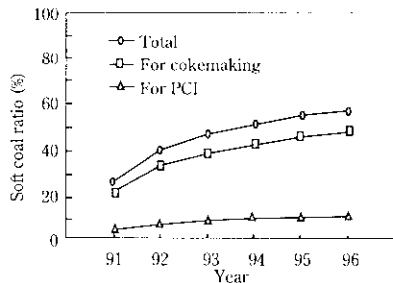


Fig. 2 Soft coal ratio in purchased coal

溶鉄製造コストについては、その大部分を占める原料コストの削減が最も重要であり、原料市場の動向を考慮し安価な原料の多量使用技術に重点を置いて開発を進めてきた。

また、設備の無人化は労働生産性の向上のみならず社員の高齢化、将来の雇用環境の変化に備えた重要開発課題である。環境改善についても、廃棄物の低減やリサイクルの推進は地域への責務であるとともに、製鉄業が存続するための条件ともなりうると認識している。

3 コークス部門の技術動向

コークス部門の最重要課題の一つが微粘炭の多量使用技術の開発である。Fig. 2 に購入石炭中の微粘炭の比率の推移を示す。1991年以降徐々に増加を図ってきた結果、1996年度見込みでは配合炭中約50%、高炉の微粘炭吹き込みを加えると60%弱に達する。これまで継続的に取り組んできた技術開発項目を Fig. 3 に示す。嵩密度向上対策として、CMC 設備の導入とその使用技術の改善に取り組み、装入炭水分制御精度の向上¹⁻³⁾を図った。また、コークス強度推定精度の向上のため各種数学モデルを開発し⁴⁻⁷⁾配合設計に適用するとともにピッチ自動添加装置を設置⁸⁾してコークス強度の変動の低減を図っている。コークスが押し詰まり防止は炉体寿命の延長とも関連があり、コークス炉の稼働の安定化を図り微粘炭の多量配合に不可欠な技術と考えている。押し詰まりの低減にはガラスコーティング装置^{9,10)}とカーボンスカーファ¹¹⁾が有効に活用されており、詳細は本特集号別報¹²⁾に述べられている。その他、コークスと炉壁間のクリアランスの計算モデル¹³⁾やITVを用いた炉壁の自動診断装置¹⁴⁾の開発があり、前者は別報¹⁵⁾に詳述するが石炭配合設計に、後者は適切な炉体補修に活用している。作業管理面では押し出し時の電流値を管理¹⁶⁾し、押し詰まり低減を図っている。

コークス部門のもう一つの重点課題は炉寿命の延長である。千葉 No. 5 コークス炉の32年を筆頭にいずれのコークス炉も老朽化が進行している。押し詰まりは炉寿命を縮める最大の要因と考えられるが、前述の押し詰まり防止対策の結果水島では押し詰まりをほぼ絶滅することに成功している。保全面では大容量溶射補修バーナーの開発¹⁷⁾や溶射材の改善¹⁸⁾により、炉体補修を推進し寿命延長を図っている。

コークス炉の環境問題はコークス炉の寿命を決定する要因でもあり、保全活動による基盤整備のほか、空冷セルフシール炉蓋および各種クリーナー類の設置、炉内圧力制御などの環境改善対策を積極的に進めている。

これら炉体寿命延長、環境改善の活動推進はその本来の目的に加えて、コークス炉の稼働安定化を通じて生産性の向上や乾留熱量の低減にも大きく寄与しており、千葉、水島製鉄所とも乾留熱量 2.05～2.13 GJ/t の好成績に結び付いている。

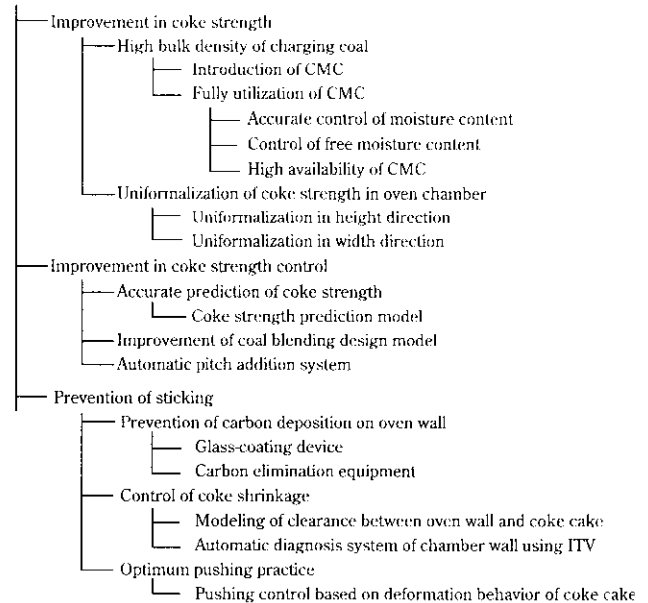


Fig. 3 Technical approach to high blending ratio of soft coal in cokemaking

自動化については96年4月に千葉製鉄所 6, 7 コークス炉で押出し機を除く移動機械の無人化を立ち上げた。今後各移動機械車体の自動運転率を98.5%以上に高め、押出し機を含めた無人化を目指す予定である。

4 原料処理・焼結部門の技術動向

原料処理・焼結部門では原料フレートの削減、焼結での安価鉱石の多量使用、未利用資源のリサイクルの推進などを主要課題として技術開発を進めてきた。

原料フレートの削減については (1) 大型連続式アンローダーの建設、(2) 原料ヤードのハンドリングの合理化、(3) 原料需給システムの開発、(4) 配合計画とヤード置き場計画の一貫管理化、(5) ヤード在庫の削減などを実施し、揚げラン（フレート契約における1日の荷揚げ能力）の向上、滞船料の削減を図った。鉱石3300 t/h、石炭2200 t/hの荷揚げ能力を持つ大型連続式アンローダーの1号機が1995年10月より水島製鉄所で稼働し、本年春に同一能力の2号機が稼働する予定である。これら原料フレートの削減活動について、本特集号別報「大型連続式アンローダーによる原料荷揚げ工程の合理化」¹⁹⁾と「ヤード操業計画システムの開発」²⁰⁾に詳述されている。

次に安価鉱石の焼結多量配合技術の開発について述べる。Fig. 4 に購入粉鉱石中のピソライト鉱石およびリモナイト鉱石（以下ピソライト鉱石で代表する）の比率の推移を示す。当社は海外に焼結工場（PSC：フィリピンシンターコーポレーション）を有し、PSCと千葉、水島製鉄所の合計で見ると、この比率は1993年の21%から1995年の36%まで漸増している。国内工場のみでは1995年に54%に達した。1996年予想では高炉の焼結配合比率を上昇させたことなどによる焼結工場の増産のため、1995年比で若干低下する見込みである。ピソライト鉱石の特性と焼結への影響を Fig. 5 に示す。図に示したように、ピソライト鉱石を多量使用するには融液の物理特性の改善とベッド下部への水分凝縮対策が重要となる。当社での技術開発項目を Fig. 6 に整理している。以下に図に示した主要技術開発項目に沿ってその概要を述べる。

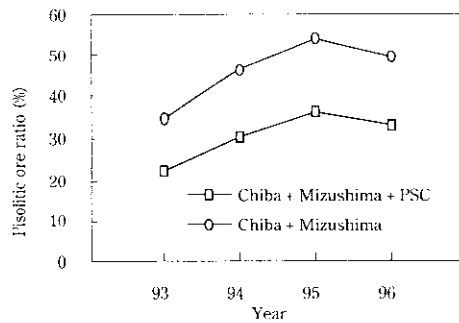


Fig. 4 Pisolitic ore ratio in purchased ore fine

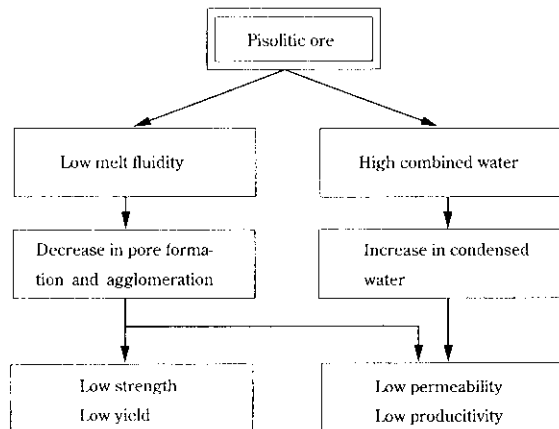


Fig. 5 Properties and effects of pisolitic ore on sintering

X線CTを用いた融液生成過程の観察、ミルスケール添加による融液性状の改善、ベッド下部への通気プレート設置によるベッドの通気性改善などは別報「高結晶水鉱石の焼結挙動と多量配合技術」²¹⁾に詳しく述べる。焼結ケーキの構造解析の結果によると、焼結表層部の歩止改善には表層部の気孔径分布の制御が重要と考えられる²²⁾。造粒性改善対策としては、ミキサー内の原料占積率一定制御^{23,24)}を実施している。Fig. 5に示したように、ピソライト鉱石使用により生産性および歩止が低下するが、ピソライト鉱石の影響を軽減する対策として予備造粒法が有力である。特定の原料または副原料とピソライト鉱石をあらかじめ混合・造粒することによってピソライト鉱石の特性のマスキングが可能と考えられ、日本の鉄鋼各社でさまざまな試みがなされている。当社でも焼結への原料装入方法とあわせて、予備造粒法の検討を進めているところである。

以上のほか、歩止向上策として「2段装入法」と称する生石灰製造設備²⁵⁾や断熱一体型サイドウォール²⁶⁾も導入している。「2段装入法」は通常の焼結原料の上部に粉石灰石と粉コークスの混合物を重ねて投入し、焼結生産と同時に石灰石から生石灰を製造するプロセスで、1993年12月千葉製鉄所で稼働を開始した。この効果は焼結鉱焼成歩止向上2.5%に相当する。

原料処理・焼結部門の労働生産性向上、環境改善には水島製鉄所のヤード機械遠隔自動化²⁷⁾、製鉄地区散水降雨設備があげられる。

資源リサイクルについては、溶銑予備処理設備での脱P能力の向上の結果、転炉スラグの焼結への100%リサイクルを可能とした。従来利用が困難であった所内発生スラグ類についても焼結での利用可能性を検討し、圧延スラグ、酸洗スラグ、溶接棒汚泥をスラリー状態で焼結ミキサーに送り、ミキサー添加水の代替としている²⁸⁾。

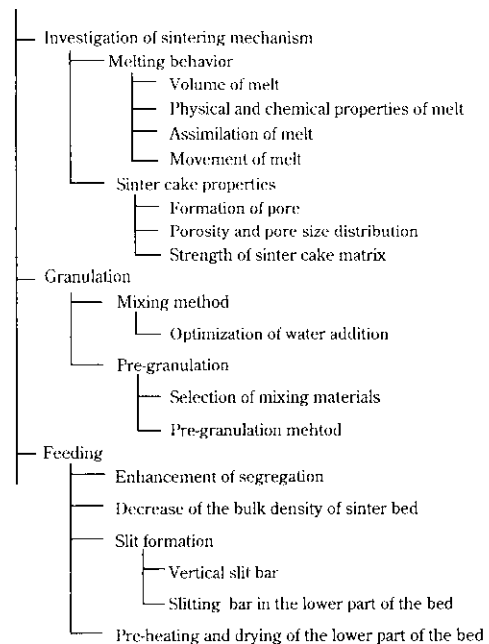


Fig. 6 Technical approach to high blending ratio of pisolitic ore in sintering

5 高炉部門

高炉はコスト競争力の源泉であり、また溶銑の安定供給を通じて経営に重大な責任を負っている。したがって、「安定操業を基盤としたコストダウンの追求」が高炉の最重点課題となる。一般に高炉でのコストダウンなどの合理化の追求は操業への要求が一層厳しくなることを意味し、総合的な操業管理レベルの向上が不可欠である。

ここでは微粉炭吹き込み操業、装入物分布制御、低Si操業、高炉モデルの利用、寿命延長対策などについて述べる。

Fig. 7にコークス比、微粉炭(PC)比の推移を示す。千葉、水島製鉄所ともPC比の増加を図ってきている。微粉炭の燃焼性、レースウェイでの挙動について種々の調査・研究²⁸⁻³⁰⁾を行ってきたが、微粉炭吹き込み量は設備能力に制限があり現在ほぼ上限に達している。今後は未設置の水島製鉄所2高炉への導入、千葉製鉄所6高炉の増強を図り、PC比の増加を図っていく予定である。千葉製鉄所では燃料比を水島製鉄所より約10~20 kg/t 高めとし、高ガス発生

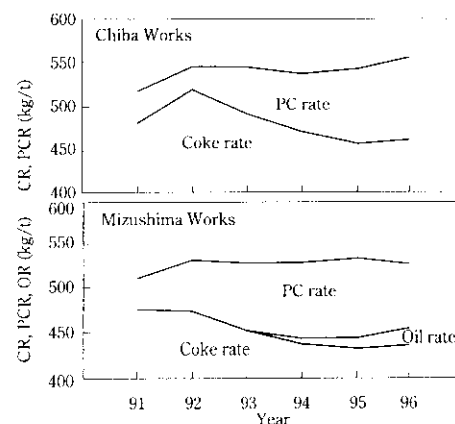


Fig. 7 Trend of coke rate, PC rate, and oil rate in Kawasaki Steel

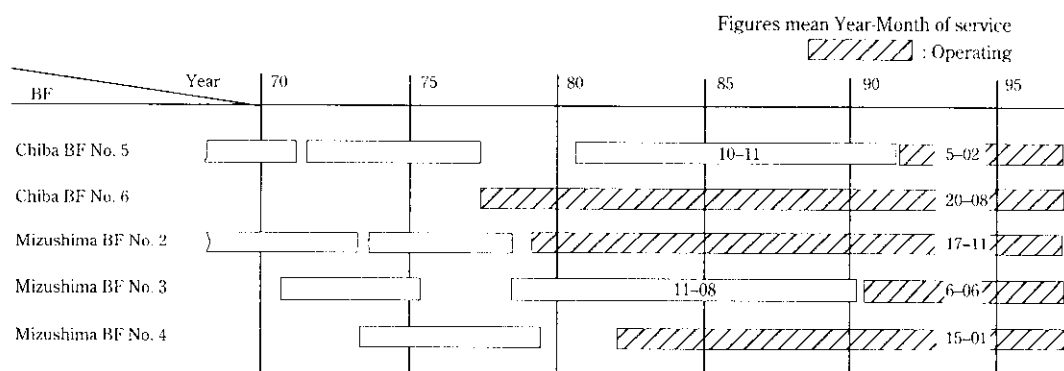


Fig. 8 Transition of the life of the blast furnaces now in Kawasaki Steel (as of February, 1997)

を指向した操業を行っている³²⁾。発生ガスは発電に利用し高価な購入電力の削減を図っている。高コークス比、低送風温度の操業では微粉炭の燃焼性が悪化するため、肉厚ランスを開発し、送風のエネルギーを利用してランス先端の乱流を強化することにより、微粉炭の分散性、燃焼性の改善を図っている³³⁾。千葉製鉄所6高炉、水島製鉄所3高炉は乾式除塵設備 (BDC) を備えているが、微粉炭吹き込み量の増加とともに炉頂温度が上昇し BDC バグフィルターの寿命に悪影響をおよぼすことが懸念される。そのため千葉、水島製鉄所とも水噴霧によるガス温度制御装置を設置している³⁴⁻³⁶⁾。

溶銑中 Si 含有量の低減は製鋼工程でのコスト低減に寄与する重要課題である。出銑 Si は 0.35% 程度であるが、装入物分布制御により出銑 Si の低下を図った例を別報³⁷⁾で報告する。千葉、水島両製鉄所での溶銑予備処理率はそれぞれ 80%、90% 程度で、製鋼着溶銑の Si 含有量はそれぞれ 0.18%、0.12% 程度を達成している。

高炉モデルは高炉の操業解析、操業設計に有効な手段である。漸次モデルの高度化を図り^{38,39)}、さらに焼結鉱の還元粉化やコークスの炉内粉化モデルを組み込んだ総合高炉シミュレーター⁴⁰⁾を開発している。高炉操業は今後高 PC 比操業、高出銑比操業に向かうと予想されるが、このような苛酷な操業条件のもとで要求される原燃料品質の理論検討に総合高炉シミュレーターを活用している⁴¹⁾。

高炉の長寿命化については格段の進歩が認められる。Fig. 8 に現在稼働中の高炉の稼働履歴を示す。80 年以前は短命であったが、80 年以降は寿命 20 年以上も期待できるようになった。千葉 6 高炉は 97 年 2 月現在すでに 20 年を超えており、水島 2 高炉、水島 4 高炉も 15 年～17 年を経過してなお比較的健全であり、20 年超の寿命を期待している。

従来、シャフト下部の鉄皮の損傷と炉底レンガの損傷が高炉の寿命を決定する 2 大要因と考えられてきた。鉄皮を保護するステープ冷却設備でみると、冷却配管の損傷は千葉製鉄所 6 高炉、水島製鉄所 2、4 高炉いずれの高炉も 1% 以下と非常に少なく、その信頼性が大巾に向上している。ステープのレンガ支持機能、ガスシール機能の向上は冷却盤との併用や壁レンガとステープとの一体構造、ステープの設計/製造技術の向上による冷却能力の強化等の技術進歩によるものと考えている。また、操業面でも装入物分布制御による

炉内ガス流の制御が格段に進歩し、炉体への熱負荷を適正に制御できるようになったことも大きく寄与している。

炉底部のレンガの損傷については、鉄皮温度、レンガ温度情報に基づき内部の凝固層のプロファイルを推定する計算モデルにより常時モニタリングできるようになり、操業条件の変更でその進行の防止を図っている。この他、高炉の長寿命化技術としてディスク深さの適正化、カーボンレンガの材質改善⁴²⁾があげられる。

6 その他技術

本誌には「高炉での成型コークス多量使用実験に基づくコークス形状の改善」⁴³⁾、「製鋼ダストリサイクル用コークス充填層型溶融還元法の開発」⁴⁴⁾についての報告が含まれている。前者は既存の室が式コークス炉に代わる新コークス製造法として他社と共同で開発された成型コークス法に関連して、高炉での成型コークス使用実験の結果と実用化のための改善案を紹介するものである。後者は溶融還元法を用いたステンレス製鋼ダストからのクロム鉄の回収に関連するものである。ダストのリサイクルにより環境問題に寄与すると同時にステンレス精錬コストの低減に寄与している。

7 結 言

当社の製鉄分野における技術開発課題と成果を紹介し、最近の技術動向について概括した。また、製鉄分野の課題と本製鉄特集号掲載論文との関係を示した。主な成果は次のとおりである。

- (1) 安価原料の多量配合による溶銑製造コストの低減を主とした技術開発に取り組み、コークス配合炭中微粉炭の使用比率 50%、焼結原料用購入粉鉱石中ピソライト鉱石およびリモナイト鉱石の比率 50% を達成した。
- (2) 高炉の安定操業と設備改善により、高炉の寿命として 20 年超が期待できることが確認できた。
- (3) 高炉技術を基礎としたコークス充填層型溶融還元炉を稼働させ、ステンレスダストから Cr を回収する技術を確立した。

参 考 文 献

- 1) 本間道雄、笠岡玄樹：材料とプロセス、68(1993)、950
- 2) 坂本誠司、井川勝利、反町健一：材料とプロセス、9(1996)、40
- 3) 本間道雄、細身和夫、坂本誠司：材料とプロセス、9(1996)、41
- 4) 井川勝利、笠岡玄樹、大島弘信：鉄と鋼、78(1992)、1093
- 5) 花岡浩二、井川勝利、笠岡玄樹、大島弘信：材料とプロセス、6(1993)、75

- 6) 松井 貴、井川勝利、反町健一：材料とプロセス、**8**(1995), 918
- 7) 坂本誠司、井川勝利、反町健一：材料とプロセス、**9**(1996), 652
- 8) 津崎昌夫、永岡義久、本間道雄、笠岡玄樹：材料とプロセス、**6**(1993), 63
- 9) 安藤 猛、高平拓也、笠岡玄樹：材料とプロセス、**8**(1995), 971
- 10) 高平拓也、安藤 猛、笠岡玄樹：材料とプロセス、**9**(1996), 646
- 11) 小久保信作、駒村 聖、杉辺英孝：材料とプロセス、**8**(1995), 127
- 12) 笠岡玄樹、安藤 猛：川崎製鉄技報、**29**(1997)1, 11
- 13) 松井 貴、花岡浩二、主代晃一、井川勝利、反町健一：材料とプロセス、**7**(1994), 924
- 14) 月原裕二、橋本邦俊、白銀辰雄：材料とプロセス、**6**(1993), 944
- 15) 松井 貴、井川勝利、反町健一：川崎製鉄技報、**29**(1997)1, 6
- 16) 渡壁史朗、原 義明、武田幹治、板谷 宏、杉辺英孝、小久保信作：材料とプロセス、**9**(1996), 38
- 17) 清水 聡、田村 望、杉辺英孝、佐藤克彦、福島康雅、熊谷正人：材料とプロセス、**8**(1995), 974
- 18) 福島康雅、宇田川悦郎、熊谷正人：材料とプロセス、**9**(1996), 647
- 19) 大神正通、細見和夫、林岡卓己：川崎製鉄技報、**29**(1997)1, 19
- 20) 国分春生、安田素郎、入川克巳：川崎製鉄技報、**29**(1997)1, 16
- 21) 主代晃一、太山伸幸、井川勝利：川崎製鉄技報、**29**(1997)1, 24
- 22) 太山伸幸、主代晃一、小西行雄、井川勝利、反町健一：鉄と鋼、**82**(1996), 719
- 23) 藤井紀文、奥山雅義、谷吉修一、石川裕昭、吉田成樹：材料とプロセス、**6**(1993), 98
- 24) 吉田成樹、谷吉修一、細見和夫、奥山雅義、藤井紀文、石川裕昭：材料とプロセス、**6**(1993), 910
- 25) 日本鉄鋼協会生産技術部門第86回製鉄部会 (1996)、鉄 86-8-共、川崎製鉄提出資料
- 26) 堤 竜二、藤井紀文、平子宏治、滝平憲治：材料とプロセス、**9**(1996), 107
- 27) 大神正通、兼田経博、宮田 淳、谷吉修一：材料とプロセス、**7**(1994), 149
- 28) 滝平憲治、井山俊司、青木幹男、野口二郎：材料とプロセス、**7**(1994), 1048
- 29) 武田幹治、板谷 宏、F. C. Lockwood：材料とプロセス、**6**(1993), 921
- 30) 石渡夏生、内山 武、武田幹治、板谷 宏、佐久間義朗、西村博文：材料とプロセス、**8**(1995), 325
- 31) 武田幹治、石渡夏生、内山 武、板谷 宏、F. C. Lockwood：材料とプロセス、**9**(1996), 2
- 32) 安野元造、西村博文、小林敬司、大西慎吾、佐久間義朗：材料とプロセス、**6**(1993), 44
- 33) 石渡夏生、内山 武、武田幹治：川崎製鉄技報、**29**(1997)1, 37
- 34) 後藤滋明、西村博文、柳沢克彦、鎌野秀行、野口宏基、津田泰志：材料とプロセス、**7**(1994), 151
- 35) 松尾紀之、沢田寿郎、滝平憲治、小野力生、牛島祐一：材料とプロセス、**7**(1994), 152
- 36) 高田英紀、井野勝己、沢田寿郎、松尾紀之：材料とプロセス、**7**(1994), 1016
- 37) 佐藤 健、野内泰平、木口 満：川崎製鉄技報、**29**(1997)1, 30
- 38) 原 義明、武田幹治、澤 義孝、板谷 宏：材料とプロセス、**7**(1994), 77
- 39) 野内泰平、佐藤 健、宮川昌治：材料とプロセス、**7**(1994), 1004
- 40) 佐藤 健、松原弘直、武田幹治、板谷 宏、西村博文：材料とプロセス、**8**(1995), 140
- 41) 佐藤 健、武田幹治、板谷 宏：材料とプロセス、**9**(1996), 620
- 42) 秋本榮治：日本鉄鋼協会第146・147回西山記念講座 (1993), 129
- 43) 原 義明、渡壁史朗、松本敏行：川崎製鉄技報、**29**(1997)1, 43
- 44) 長谷川伸二、国分春生、原 義明：川崎製鉄技報、**29**(1997)1, 51