

© 1982 ISIJ



# トータルコストミニマム下における製鉄技術の将来

石川 泰\*

## Future Trends in Iron-making Technology for Minimization of Total Cost

Yasushi ISHIKAWA

### 1. 序 文

我が国、鉄鋼業の製鉄部門は増大する鉄鉄の需要に対処するため高炉を中心とする設備の大型化、複合送風や高圧化などの新鋭化を中心に生産性の向上をねらい、かつ原料処理技術、炉内現象の解明による操業技術の向上により燃料比の低減等に多大の成果を挙げてきた。しかしながら昭和 48 年秋以降の石油危機を契機に日本経済は、エネルギーソースの有限性を強烈に認識させられ、エネルギー消費を抑制する方向、すなわち経済の鈍化の方向に軌道を修正せざるを得なくなった。製鉄部門においても、エネルギー問題が先行きを見通す上の重要な要素であることを認識すると共に、原燃料価格の高騰及び低操業度に対処するために製造コストの低減が一段と重要な課題となつた。この対応策として、積極的な脱オイル、代替エネルギーへの転換、効率の一層の向上等が強力に推進され、現在は 70% 操業で収支がとれる状態にまで努力が奏功しつつある。以下、石油危機に伴う製鉄部門のコスト・技術面の変化を述べ、今後の方向について考察してみる。

### 2. 価値観を変えた石油危機

従来より高炉操業における燃料比の低下は、操業技術レベルの指標であり、かつ高価な原料炭の節減による溶鉄コストの低減のためにも多年にわたり一貫して追求してきた大目標であつた。しかし、二度にわたる石油危機により石油価格は異常に高騰し、石炭との価格差が大幅に拡大した結果、一時的ではあるが燃料比の低下が従来の目標にマッチしないという想像もしなかつた価値観の変更を余儀なくされた。すなわち製鉄部門において石炭系のガスを多量に発生させることが製鉄所全体の石油系エネルギーの消費量を減少させ、製鉄所の収益を改善させることになつたためである<sup>1)</sup>。図 1 に原料炭と重油の価格の推移を示すが、石油危機により重油価格は大幅に原料炭価格を上回り、約 4 倍になつている。図 2 に新日本製鉄(株)における最近の重油消費量と副生ガスの変化の推移を示す。高炉のオイルレス化によりコークス比は

上昇し、副生ガスとしての高炉ガス(Bガス)の発生量も増加する。更にコークス炉の稼働率が上がるためコークス炉ガス(Cガス)の発生量も増加し、これらの副生ガスは転炉で発生するガスと共に、加熱炉や発電所などで使用している重油の代替燃料となり、製鉄所全体のエネルギーバランスをみた場合に、重油の総消費量を抑制するという大きなメリットを生んでいる。高炉に限つた場合でも重油吹き込み操業は、図 3 に示すごとく石炭と

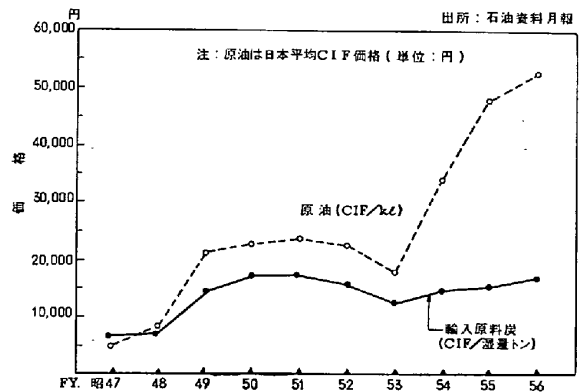


図 1 原油と原料炭の価格推移(円ベース)[年度平均]

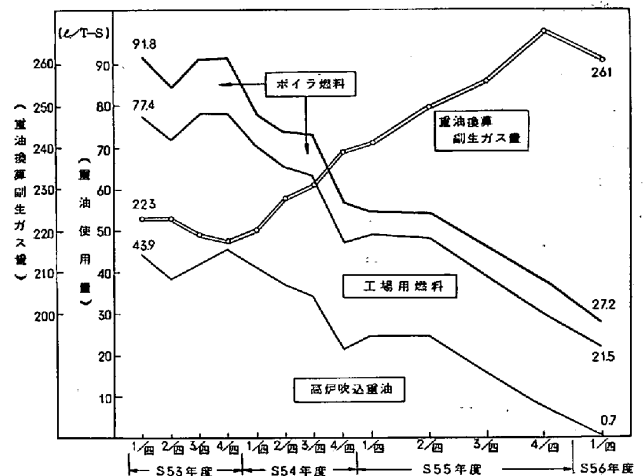


図 2 高炉重油比減と副生ガス発生量の推移 (N S C)

昭和 57 年 4 月 14 日受付 (Received Apr. 14, 1982) (依頼解説)

\* 新日本製鉄(株) (Nippon Steel Corp., 2-6-3 Otemachi Chiyoda-ku 100)

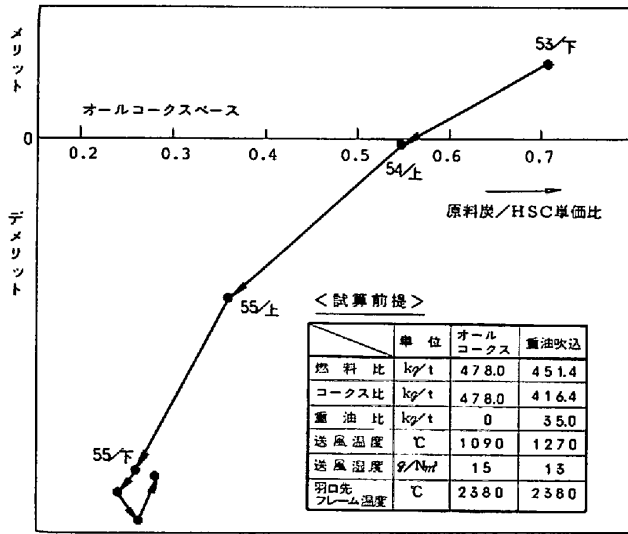


図 3 (原料炭/重油) 単価比と燃料吹き込み効果試算例 (副生ガス重油等価)

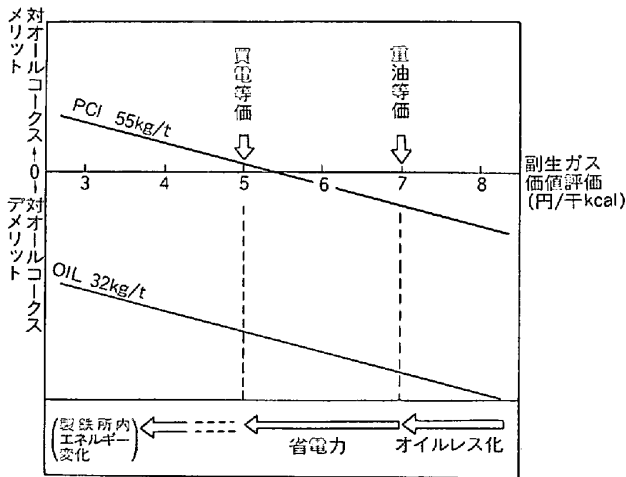


図 4 副生ガス価値評価と高炉燃料吹き込みメリットの関係

重油の価格差が大きくなる程、当然ながらメリットはなくなってくる。図4は副生ガス価値評価と高炉燃料吹き込みメリットの関係を示した例であるが、燃料吹き込みのメリットは製鉄所全体の省エネルギー対策の進行度合いと密接に関係している。製鉄以外の省エネルギー対策が進み、副生ガスが重油代替燃料としての役割を持たなくなってくると高炉の燃料比低下努力が、エネルギーコスト面からも必要となることは明らかであり、現在は既にその途上にある。また、製鉄所の省エネルギー限界においては、余剰ガスが発生しエネルギーの外部供給能力を有する可能性があり得るとの試算例<sup>2)</sup>もあり、自己完結型エネルギー対策として高炉の代替燃料吹き込みが位置付けされる可能性もある。

次に石油危機に伴う状況の変化として大きなもの一つに省エネルギー投資が挙げられる。危機以前の熱回収設備は、そのメリットの割に設備投資が高く、従って使

表 1 製鉄部門の主要省エネルギー設備一覧表

省エネルギー設備	熱回収方式	省エネルギー効果	設置基 数
高炉々頂圧力回収タービン (TRT)	電 力	$\times 10^3 \text{kcal/t-p}$ 86 (10,000 T/D)	全国 (S.56.10) 30基
熱風炉排熱回収設備	燃焼用空 気予熱	$\times 10^3 \text{kcal/t-p}$ 25~40	31
焼結主排風排熱回収	蒸 気	$\times 10^3 \text{kcal/t-s}$ 14	7
焼結クーラー排熱回収	予 熱 蒸 気 電 力	$\times 10^3 \text{kcal/t-s}$ 17~37	16
コークス乾式消火設備 (CDQ)	蒸 気 電 力	$\times 10^3 \text{kcal/t-c}$ 280 (95t-coke/H)	16

用燃料の低下や熱風炉の熱効率の向上などの操業技術の改善が主体であった。しかし重油価格の高騰により投資メリットは大幅に向上し、日本の重工業の技術ポテンシャルの高さと相まって省エネルギー設備導入のテンポは急速に早まってきた。昭和 56 年度現在、排熱回収を中心とする省エネルギー設備の普及率は製鉄部門では表1のごとくであり炉頂圧力回収タービン、熱風炉排熱回収設備は、ほぼ普及し焼結鉄の頭熱回収設備、コークス炉の乾式消火設備 (CDQ) 等の大型投資に重点が移りつつある。排熱回収の方法として初期は回収が容易で比較的回収効率の高い蒸気による熱エネルギーの回収が行われてきた。

一方、日本の電力価格は、カナダ・アメリカ及びドイツを除くヨーロッパ諸国に比較してはるかに高く、この傾向は今後共続くものと思われる。鉄鋼業の購入エネルギーに占める電力 (買電) の割合は、図5に示すごとく 18% となっており電力の使用量の削減はコスト面からも重要である。従ってエネルギーの回収を電力の形で行うことの意義は大きく炉頂圧力回収タービンの普及が極めて短期間に行われた背景にはこのような事情も働いていたわけである。

今後の製鉄部門の省エネルギー設備投資の方向は規模、投資額共に大きく回収期間も長期化する、スラグ頭熱の回収やコークス炉ガスの頭熱回収などが検討されることになる。

### 3. 製鉄部門のコスト構成とコストダウンの方向

#### 3.1 コスト構成要素の推移

図6に昭和 48 年と昭和 56 年の製鉄部門における製造コスト構成要素の価格推移の一例を示す。この図に従って各構成要素の内容について述べてみる。

##### 1) 溶鉄コスト

(1) 原燃料価格の上昇 (1.8 倍)

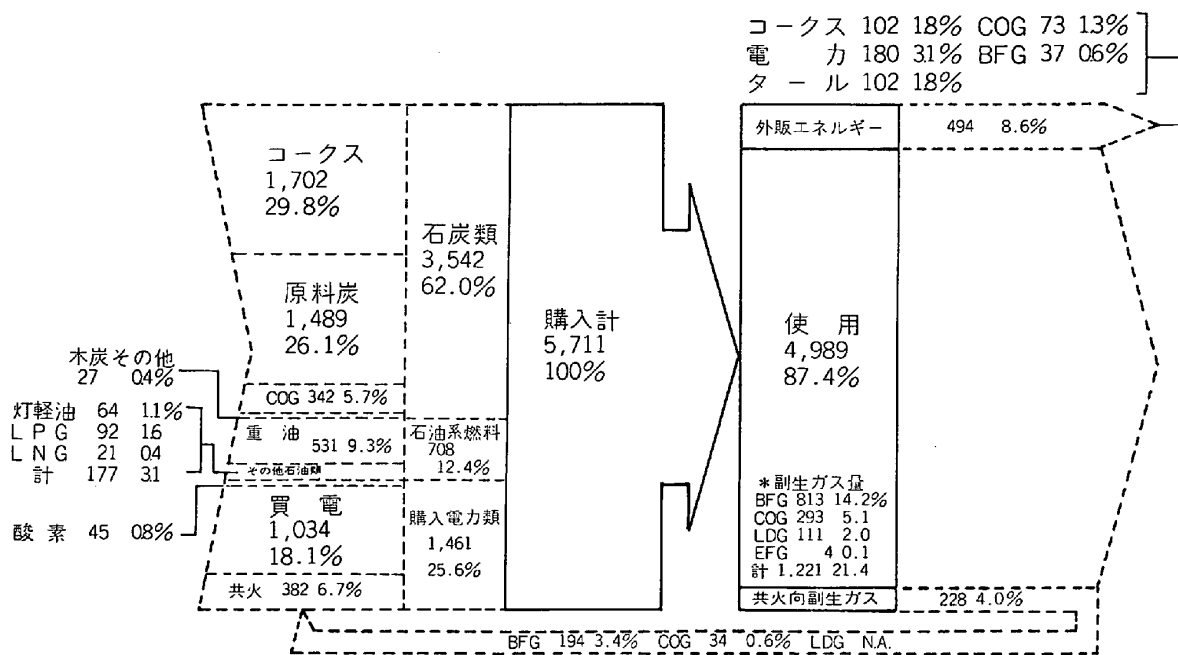


図 5 鉄鋼業のエネルギーフロー (S. 54 FY 全国平均)

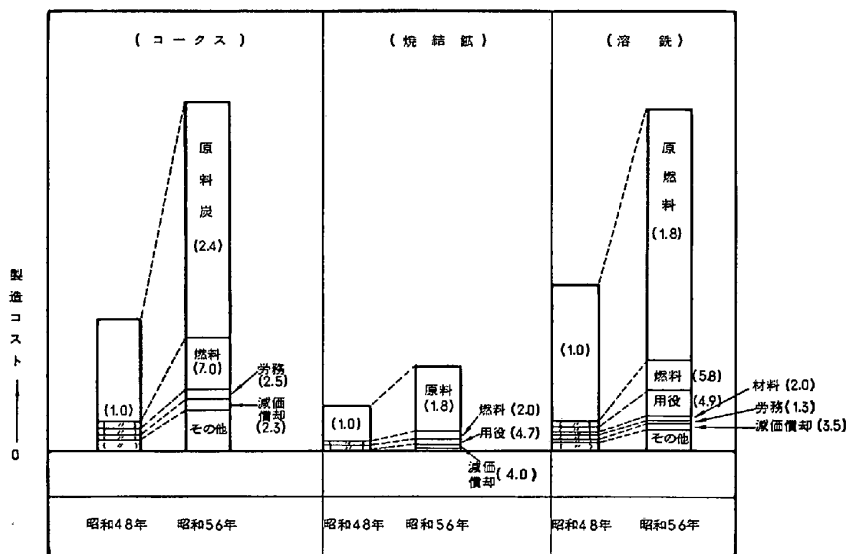


図 6 製鉄部門の製造コスト構成要素の価格上昇率例 (ただし副産物は除く) (昭和 48 年基準に対する倍率表示)

原料炭価格などは 2 倍を越えているがコークス及び焼結鉄の製造技術の向上、高炉における燃料比の低下努力等によりコスト上昇をカバー

(2) 用役費 (電力、ガス等) の上昇 (5.8 倍)  
省電力、熱風炉の燃焼効率の向上、自主管理活動による日常の原単位低減努力にもかかわらずエネルギー価格 (カロリー単価はオイル基準) の上昇が大きくカバーできず

(3) 減価償却費の上昇 (3.5 倍)

炉命延長対策の実施などの投資の抑制で上昇幅を圧縮  
(4) 労務費の上昇 (1.3 倍)

省力化設備の導入、計算機の活用による集中監視などの積極投資により、賃金の上昇 (2.1 倍) をほぼ吸収

2) 焼結鉄コスト

(1) 原料の価格上昇 (1.8 倍)

(2) 燃料費 (粉コークス、Cガス等) の上昇 (2.0 倍)

燃料価格の高騰を操業努力による原単位の低下でカバー

(3) 用役費 (電力, 用水等) の上昇 (4.7 倍)

焼結設備の稼働率低下, 環境対策強化に伴う電力使用増等により大幅上昇

3) コークスコスト

(1) 原料炭の価格上昇 (2.4 倍)

(2) 乾溜用燃料費の上昇 (7.0 倍)

乾溜熱量原単位は 10% 低下したが価格の上昇が大きくカバーできず

製鉄部門の製造コストは原料費が全体の 75% を占めており, これに燃料費を加えるとほぼ 90% となる. 従って原燃料価格の高騰は, 製造コストに対し決定的な影響を及ぼすことになり, 上述のごときコスト低減努力にもかかわらず全体の製造コストは上昇している.

3.2 コストダウンのための技術の方向

3.2.1 焼結部門

燃料及び電力の使用量低減が主要な課題であるが, 一方において焼結鉱は高炉の主原料であり, 高炉々内における還元性や高温性状などの品質の向上も重要である. この双方の要求を満足する低消費熱量の高被還元性焼結鉱の製造が焼結部門の目標であり, この目標にマッチした良質のカルシウムフェライト組織の造り込みが今後の課題である. 現在この組織の造り込みの手段として

- ①原料銘柄毎の鉱物特性を把握した配合理論の確立
- ②組織形成条件としての擬似粒子の造り込み
- ③エネルギー消費ミナムをねらったヒートパターン  
の最適化

に焦点が置かれ, 漸次この目標に近づきつつある. 図7に焼結鉱中の FeO, 粉コークス原単位の推移を示した. 同時に電力原単位の推移も示したが電力の低減手段としては, 20~50% に及ぶ漏風率の低下, メインブロー・集塵機等の回転体の効率向上などが今後共, 積極的に推進される必要がある. 仮に漏風率を現状より 5% 低減できれば, 約 30 円/t-s のコストダウンとなり, その効果は大きい.

更に海外からほとんどの原料を輸入する我が国としては輸送費用の低減も重要な課題である. パンカーオイルの低減を目的とした省エネルギー船が検討され実用化の

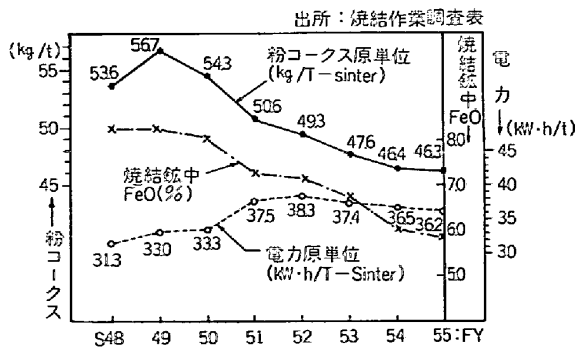


図 7 焼結鉱中 FeO, 焼結用粉コークス及び電力原単位推移 [全国平均]

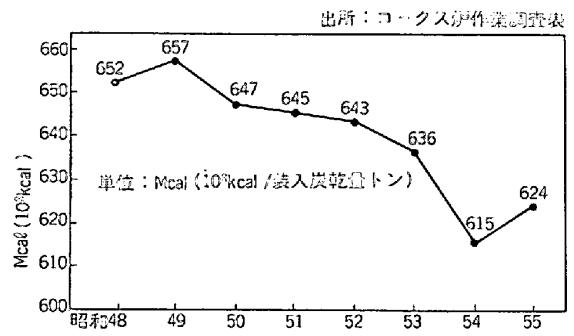


図 8 コークス炉燃料原単位推移 [全国平均]

表 2 石炭乾溜熱量低減設備効果例

(単位: × 10<sup>3</sup> kcal/t-coal)

設備効果 熱量	ベース (S.55 全国平 均値セット)	自動燃 焼制御	石炭調 湿(乾燥)	プレカ-ボン
乾燥	—	—	排熱利用 (50)	—
予熱	—	—	—	△80
乾溜	624	▽20 604	▽30 574	▽130 444
合計	624	604	574	524

(▽: 省エネルギー △: 増エネルギー)

方向に進んでいるが, 今後の普及が期待される<sup>9)</sup>.

3.2.2 コークス部門

石炭の乾溜熱量の低減がまず挙げられる. 図8に全国平均の乾溜熱量の推移を示すが, 年ごとに低下し最近では 60 万 kcal/t-石炭に近づいている. 現在までの熱量低減手段として, 燃料ガスのカロリーコントロール, 空気比管理の自動化などの燃焼の自動制御や石炭の予熱装入等を実施してきた. 今後の技術課題としては排熱利用による原料炭水分の低減, プログラムヒーティングの実機化, 炉温の最低限界レベルへの接近策の充実などがあり, これらの効果と乾溜熱量の予想レベルを表2に示した.

一方, 石炭の埋蔵量は世界的に多いとはいっても品質の劣化, 開発費用の増大, 輸送の遠隔化などによる原料炭の供給不安定, 価格の上昇は今後も予想される. このような事態に対処するため, コークスの品質維持・向上とあわせて劣質炭の利用技術の高度化による質源利用幅の拡大が, ますます必要となる. 劣質炭利用法としては既に, 装入充填密度を向上させる成型炭配合法が実用化され, 非粘結炭の使用割合は 5~20% になっている. このほかにも石炭をあらかじめ 200°C 前後に加熱して装入し, 充填密度の向上と乾溜過程での品質改善をねらった予熱炭装入法が実用化されてきた<sup>4)</sup>. これらの資源対応設備費とそれぞれの非粘結炭使用割合を表3に示す. 更にこれらの非粘結炭対策を逐次進めると共に, 石炭の特性を生かした配合理論を充実させ, 乾溜メカニズ

表 3 コークス資源対応設備比較

プロセス	通常プロセス	分級粉砕法	成型炭配合法	予熱炭装入法
設備投資 (指数表示)	100	103	110	115
非粘結炭 使用割合 (%)	0~3	4~8	5~20	10~30 <sup>1)</sup>

ムの解明を行うことにより、コークス品質の一層の向上・新プロセスへの発展が期待される。

### 3-2-3 高炉部門

トータルコストを考慮した場合の高炉のコストダウンの方向は、先にも述べたごとく、エネルギー等の周囲の状況を見極めながら決める必要がある。ここでは重油、代替燃料吹き込み操業とオールコークス操業の比較を中心に述べてみる。

#### 1) 重油吹き込み操業とオールコークス操業

オイルレス製鉄所の実現が、エネルギーコストメリットの追求手段として緊急の課題となり、高炉は急ピッチでオールコークス操業に移行し、昭和 56 年末現在、43 基中 42 基がオイルレスとなつた。オールコークス操業への移行に伴う操業上の変化は以下のごとくである。

#### (1) 炉内の変化と生産性：

オールコークス操業に伴う変化としては、①Ore/Coke の大幅低下、②羽口先燃焼温度の上昇、③水素入量の減少、④熱流比の上昇等があり、高炉の高さ方向及び半径方向のガス・固体の温度分布や鉱石の還元率分布などに変化が生じ、ガス流れ・荷降下の不安定、Si のばらつき増加などの現象が顕在化してきた。これらの対策として、①送風温度の低下、②送風湿分の増加による羽口先燃焼温度の上昇抑制、水素入量の確保が必須となり<sup>6)</sup>、結果として、コークス比は上昇し生産性は低下した。しかしながら生産性については経済成長の鈍化から、現状はむしろ下方弾力性が求められるケースも発生しており、生産性を上げる必要性は少ない。

#### (2) 石炭比：

オールコークス操業移行により当然ながら上昇し、コークス炉能力を配慮する必要性が生じた。

#### (3) エネルギー及びガスバランス：

重油比 32 kg/t 操業とオールコークス操業を比較すると、エネルギー消費量は 3% 増加し、ガス発生量は C ガス相当 30~50 Nm<sup>3</sup>/t の増加となる（重油吹き込み基準）。

#### 2) 代替燃料吹き込み操業とオールコークス操業

代替燃料吹き込み技術として実用化されているものの一つに微粉炭吹き込み操業がある。この技術は、アメリカ・中国などで実績があつたが高圧・高温送風・大型高炉への適用例としては、新日本製鉄(株)大分 1 高炉の例(昭和 56 年 6 月稼動)がある。大型高炉への適用課題は

①脈動のない大量安定輸送

②多数羽口への均等分配

③多量吹き込み時の良好な燃焼状態の確保

などであつたが、これらの課題を解決し、現在 50~60 kg/t の微粉炭を安定して吹き込んでいる<sup>6)</sup>。

ここで試算を交えながら微粉炭吹き込みとオールコークス操業の比較をしてみよう。

#### (1) 生産性：

羽口先燃焼温度を一定とした場合、送風温度の上昇・送風脱湿設備の活用等により 4~9% の生産増加が可能となり生産の弾力性が回復する。

#### (2) 石炭比及びコークス炉能力：

一般炭の活用が可能であり、原料炭の大幅節減が可能となり、かつコークス炉のリプレースを考慮する場合は当然検討すべき課題となる。

#### (3) エネルギーバランス：

微粉炭処理系統のエネルギー増加はあるものの、コークス節減効果が大きく微粉炭 55 kg/t の吹き込みでは 3% の低減となる。

#### (4) ガスバランス：

微粉炭 55 kg/t の吹き込みは、重油比 32 kg/t 吹き込みと同程度のガス発生量の減となる。従つて製鉄所のエネルギーバランスから、ガスが余剰となる場合の低下策として位置付けされる。

以上の結果をまとめて表 4 に示す。微粉炭吹き込みのコストメリットは製鉄部門で発生する副生ガスと所内のガスバランス、石炭と重油の価格比で決まることは図 4 で説明したとおりである。すなわち副生ガスの評価が重油と等価であればメリットはないが、買電等価程度に評価される時点になると、評価は大きく変わりメリットが出る。

総合的に見た場合、微粉炭などの代替燃料吹き込み操業の適用の要否は、重油と石炭の価格関係が現在程度であれば

①生産性要求度

②製鉄所のエネルギーバランス（副生ガスの評価）

③コークス炉能力余裕に対する見通し

などに対する総合判断から決定されるであろう。

## 4. 重要性を増す設備投資

### 4-1 期待される設備の長寿命化

高度成長時代の高炉は生産量の確保と拡大が最優先され、炉体損傷が進み生産能力が低下傾向になると計画的に改修・炉容拡大を行い機能の向上に努めてきた。この背景は多少多めの改修費用をかけても増産によるコストの低減、資本の早期回収が可能であつたためである。しかし一方において高炉は生産性、合理化の追求から大型化し、操業技術・設備技術の進歩により長寿命化の方向に進み、炉命は 6 年から 10 年へと著しく延び、現在は

表 4 高炉における重油吹き込み、オールコークス操業、微粉炭吹き込み比較 (試算例)

オールコークス操業 FR水準 478kg/t	重油吹き込み 32kg/t FR水準 454kg/t	PCI 55kg/t FR水準 465kg/t
◎出鉄能力低下 2.18T/日/m <sup>3</sup> (▼0.09T/日/m <sup>3</sup> の低下) 9060T/日 (▼360T/日の低下)	☆生産性 ◎出鉄能力 【大分1高炉例】 2.27T/日/m <sup>3</sup> 9420T/日	◎出鉄能力維持可能 重油32kg/Tに同じ 2.27T/日/m <sup>3</sup> 9420T/日
◎石炭比約90kg/TのUP 大分1高炉生産規模で ・コークス用炭約25千t/月 ・製鉄 約20千t/月 の増が必要	☆石炭比&コークス炉能力 ◎石炭比節減 原料炭節減,PCIがBest Total石炭比,OILIが Best ◎コークス炉能力不足 時はPCIがBest	◎石炭比約35kg/TのUP コークス用炭減約20kg/T 一般炭増 55kg/T ◎製鉄減 (約20千t/月)
◎製鉄工程として 10万~15万kcal/T のエネルギー使用増	☆エネルギーバランス ◎トータルエネルギー削減 の面では PCI<OILI	◎製鉄工程でのエネルギー バランスは、重油吹き込 み操業時とほぼ同じで使 用増減なし
◎製鉄工程で COG相当30~35Nm <sup>3</sup> /T のガス発生増	☆ガスバランス ◎余剰ガス対策として PCI<OILI の効果が期待できる	◎製鉄工程でのガスバラン スは、重油吹き込み操業 時とほぼ同じで、ガス発 生増減なし
◎オールコークス時 円周バランスの不安定化 炉下部不活性etc 不安定要因あり (鉄中Si上昇)	☆操業の安定性 ◎生産&溶鉄Si etcの安 定性は オールコークス<PCI< OILI	◎高炉操業の安定性は、重 油吹き込み操業時とほぼ 同じで、生産、溶鉄品質 とも安定

表 5 高炉の長寿命化対策

損傷箇所	原因(例)	建設時対応策(例)	延命対策(例)
鉍石受金物部	1) 装入物による摩耗 2) 熱による組織変化	1) 取替式金物の採用 2) 材料の耐熱, 耐摩 耗性の向上 ( 鑄鉄 系→鑄鋼系 )	1) 金物の取替え 2) プレート金物設置
シャフト下部 (冷却装置) 鉄皮	1) アルカリ, スラグと の化学反応 2) 熱によるスポーリング 3) 装入物による摩耗など	1) 材質の向上 ハイアルミ質 SiC Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> etc	1) 熱間吹付け補修 2) キャスタブルの圧入 3) 装入アルカリ, Zn管 管理
	1) ホットスポット発生 による熱応力 (耐火物, 冷却装置 の損傷, 破損)	1) 耐クラック鋼鉄皮材 2) 冷却装置の冷却強化 (耐高熱負荷ステー プ, 冷却板ピッチ短 縮等)	1) 冷却強化 2) 冷却装置の破損早期 発見 3) 炉壁熱負荷管理
炉底湯溜り部	1) 溶鉄, Zn, アルカリ の侵入によるレンガ 破壊 2) 溶鉄流による摩耗 3) 熱応力による機械的 割れなど	1) 材質の向上 低気孔率, 高熱伝導 率, 強度向上など 2) 浮上防止構造 3) 冷却強化	1) 外部からの冷却強化 2) 監視計器の増設 3) 装入Ti量管理など

常識化しつつある。これには数年来の経済の鈍化による高炉の負荷軽減, 設備投資の抑制による延命努力の成果もあろう<sup>7)</sup>。図9に高炉の炉容と炉一代の出鉄量の関係を示す。炉命延長に際してのネック箇所は

①炉口の鉍石受金物部  
②シャフト下部の高熱負荷部  
③炉底湯溜り部  
であり, これらの箇所に対する建設時及び操業中の設備

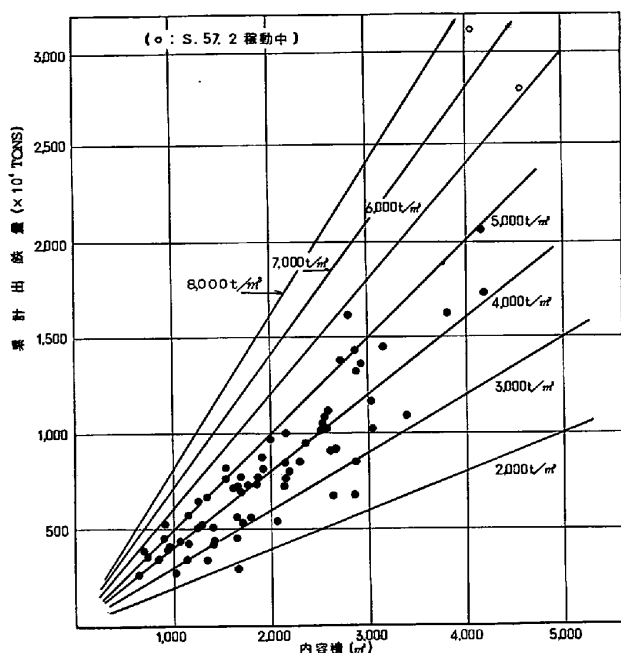


図 9 高炉炉容と累計出鉄量の関係

対策、操業管理項目の主要例を表 5 に示す。

一方、改修については炉底が寿命となる前に他の部分の改修を早目に行う中間改修の考えもあり最適改修法に関しては、更に討議されることになる。

コークス炉も高炉の大型化と対応して生産性の追求から大型化し、炉命も 20 年を越える炉が出現してきた(図 10)。コークス炉の寿命は従来、20 年を通例としてきたが、最近では高炉と同様に長寿命化が積極的に検討されている。稼動炉のれんが損傷が激しくなる前に部分的に積み替える方法、耐火物を火焰で溶融し吹き付け補修する技術の実用化などにより炉命は延長し、30 年を目標としつつある<sup>9)</sup>。

#### 4.2 設備投資の重要性

前節において投資の抑制、コスト低減の面から高炉及

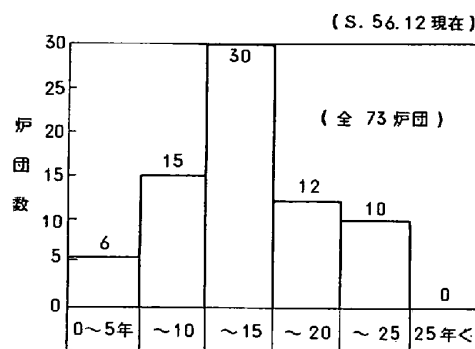


図 10 稼動コークス炉の炉令分布(全国)

びコークス炉の長寿命化が進められていることを述べたが、ここで最近の鉄鋼業における設備投資の構成推移を振り返ってみよう(図 11)<sup>9)</sup>。当初 60% 弱を占めていた能力増強投資は昭和 53 年以降、大幅に低下し、高炉改修を中心とする維持補修投資に変わってきた。連铸に代表される工程の連続化による合理化・省力化投資は昭和 52 年に一段落したが、再び増加の傾向となっており、高炉の炉頂圧力回収タービン、熱風炉の排熱回収等の省エネルギー投資も年ごとに増加し投資面からもコストプッシュに対し積極的に対応してきた。このような投資の推移から今後の製鉄部門のコスト低減を考慮した場合、以下のごとき観点から設備投資を積極的に推進する必要がある。

第 1 は炉体の長寿命化を推進しつつ、経年変化に伴う操業の効率の悪化を回避するための老朽更新に対する投資である。

第 2 は、いわゆるメリット工事として位置付けされる原料価格の高騰や人件費の上昇などのコストプッシュ要因を吸収するための投資である。同時に、歩留り向上や原単位低減に対する自主管理活動を含む操業努力も従来以上に積極的に推進すべきことはいうまでもない。

第 3 は、スラグ顕熱の回収やコークス炉発生ガスの顕

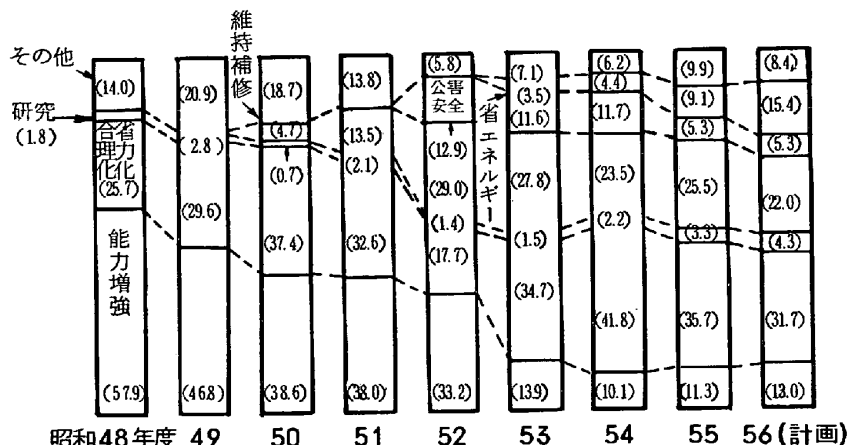


図 11 投資動機別設備投資内訳 (構成比推移: %)

熱回収等の省エネルギー設備や高炉改修時の設備開発等の新設備技術への投資である。

第4は、非粘結炭の多量使用法としての成型コークス製造法にみられるごとき資源対応技術開発への積極的な投資である。

これらの設備投資が、時代の価値観の変化を早期にとらえ積極的に実施されることにより製鉄部門の基盤の安定・強化が図られることになる。

### 5. プロセス限界への挑戦

製鉄部門の各プロセスは、現象が複雑であり解明すべき部分が多く残されている。特に高炉は、気相・固相・液相の三相が共存する高温の連続反応炉であり、長期にわたって炉を安定させる操業技術としては、まだ向上の余地が大きい。それ故、炉内現象を知り尽くすという基盤研究が重要であり、これにより炉の安定を得ると共に、プロセス限界への接近も可能となろう。従来、不明部分の多かつた炉内現象は検出端やシミュレータの活用、実炉の解体調査等により逐次解明されてきた。

更に最近では計算機の発達により、各種の操業管理システムが開発され、総合管理システムへと統合されつつある。図12は操業管理用計装設備と管理システムの概念を示す。このような高炉の進展はあるものの、反応及び熱効率限界への接近という点からみると炉内現象にはいまだ解明すべき課題は多く、今後更に追求が必要である。

高炉の限界燃料比は、原料条件として①焼結鉄の還元率 70% 以上、②コークス中灰分 10%、高炉の還元条件としてガス利用率 58%、操業条件として①送風温度 1350°C、②Si 0.30% などの値を仮定すると、400~405 kg/t となり<sup>10)~12)</sup>、オールコークス操業では 444 kg/t の試算例が報告<sup>13)</sup>されている。

一方これらの諸条件をそろえた短期の操業テストでは限界燃料比に近い値が得られている。昭和 55 年 11 月の新日本製鉄(株)君津 4 高炉の 406 kg/t(重油比 37 kg/t)<sup>14)</sup>、昭和 56 年 7 月の同社室蘭 4 高炉のオールコークス操業における、コークス比 448 kg/t<sup>15)</sup>、昭和 56 年 11 月の日本鋼管(株)福山 3 高炉における燃料比 396 kg/t(タール比 42 kg/t)<sup>16)</sup> が月間平均値として記録されており、いずれも上記の条件の必要性を示している。

溶銑中 Si については、0.20% 台で安定している炉があり、操業の安定により炉熱レベルを下げ得た結果として Si が低下したことが示されている。最近の製鋼工程における連銑比率の増加により溶銑比率は上昇し、溶銑中 Si の低下は転炉の生石灰使用量の削減や鉄分歩留りの向上などのコストメリットを生みプロセスの価値を高める点からも、ますます要請されている。

現在までの知見によれば<sup>17)</sup>、Si 低下の条件は①SiOの発生の抑制と溶銑滴下時間の短縮、②炉熱レベルの低下などが挙げられている。手段としては①羽口先ガス温度の低下、②スラグ塩基度の上昇、③送風圧力の上昇、④融着帯位置の低下を可能とする焼結鉄被還元性の向

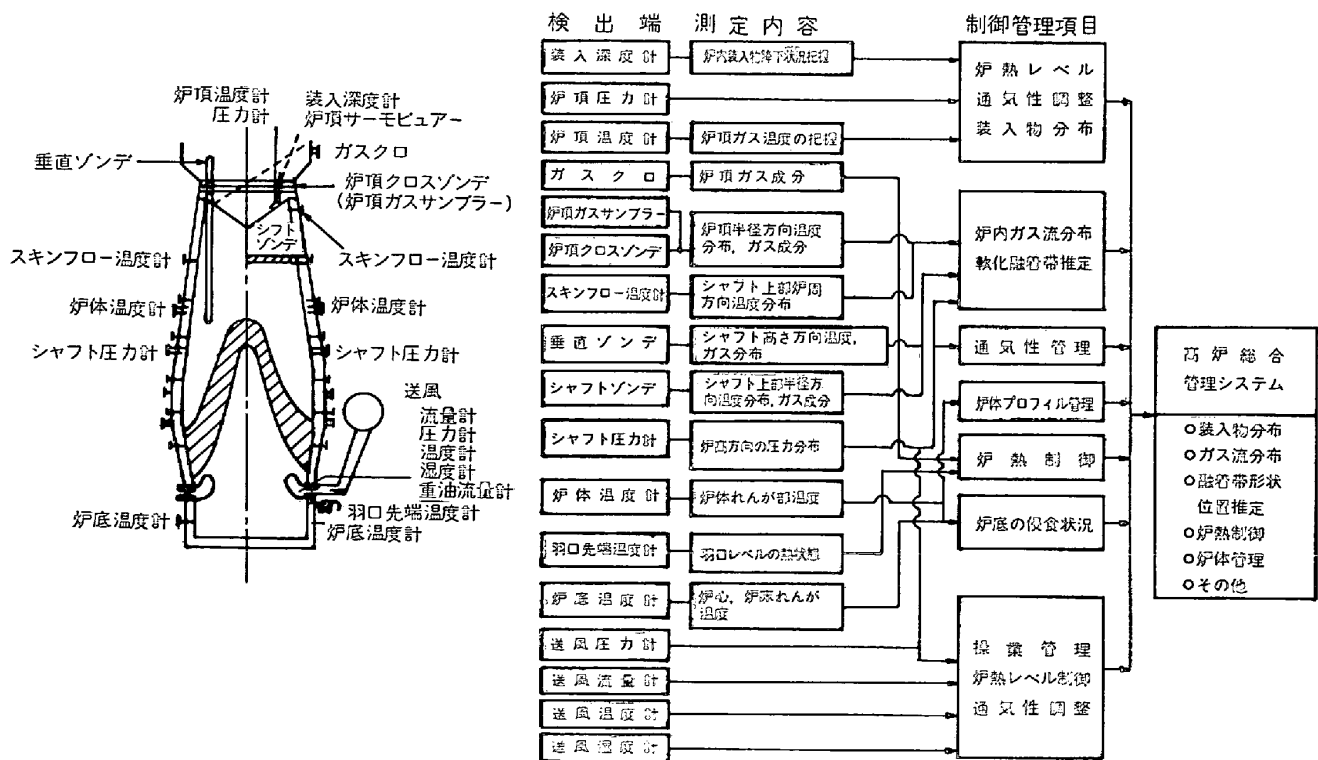


図12 操業管理用主要計装設備と管理システム



上、⑤溶銑温度の低下などがある。操業上の Si の下限値としては 0.1% 台と予想している報告<sup>18)</sup>もあるが、いずれにしても炉内における Si の移行メカニズムの解明が必要である。

高炉の低燃料比、低 Si 銑の製造手段として焼結銑の品質向上は重要である。焼結プロセスに要求される技術は既に述べたごとく、原料の銑物特性を活かした配合理論の確立により、高被還元性の焼結銑を低焼成熱量（低コスト）で生産性を損なうことなく製造する技術の確立である。焼結銑の組織上の特色である残留元銑を意図的に選択し、焼結銑の強度の支持材とすると同時に還元性の良好なものとするれば、結合材の量及び焼成熱量の低減が可能となる。一方、結合組織としては、低温で生成し適度な気孔率を有する針状カルシウムフェライト組織の造り込みが高被還元性の面から追求されている。これらの条件からみた焼結銑の限界に近いと思われる値としては、JIS 還元率 75%<sup>19)</sup>、SiO<sub>2</sub> 5% 以下の低スラグ焼結銑<sup>20)~21)</sup>、焼成熱量原単位 30 万 kcal/t-sinter<sup>22)~23)</sup> の低焼成熱量が記録されており、今後の技術目標となる

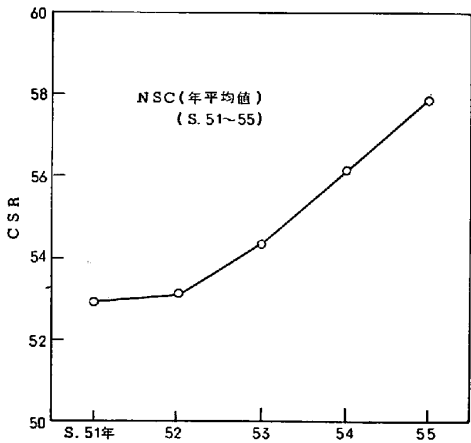


図13 コークス熱間性状(C S R)の推移

う。

高炉下部の炉内構造を規制するコークスの高温性状は図13に示すごとく年ごとに向上している。コークスの高温性状は光学的異方性組織<sup>24)</sup>の量で決まり石炭銘柄、乾溜時の特性などの基礎物性を十分に把握した配合理論を確立することにより、一層の品質向上が期待される。コークスプロセスの限界を考えた場合、①乾溜時間を短縮し生産性の向上を図ること、②乾溜熱量の低減を図ることが主要な技術要素となる。乾溜熱量の低減には乾溜制御の自動化、側壁れんがの高密度・薄壁化による熱伝導率の向上等により投入熱量を削減する対策と、燃焼排ガスやCガスの顕熱を回収し、コークス炉燃焼用空気の前熱や石炭を乾燥する自己完結型を指向する方法があり、これらを完全に実施すれば 50 万 kcal/t-石炭以下のレベルを達成出来ると考えられる。更には乾溜制御を一步進めたプログラムヒーティングの開発により乾溜熱量の低減、コークス品質の改善が期待される。

コークス炉の炉命延長について先に述べたが、日本のコークス炉の直面している問題としては、炉命 30 年としても多数のコークス炉がリプレースの時期を迎えつつあり、新しいコークス炉を建設するという重要な時点に差し掛かっていることである。現状の室炉式コークス炉は作業形態がバッチ式であること、伝熱メカニズムが石炭乾溜からみた理想パターンと程遠いものとならざるを得ないこと、高度の自動化が困難なことなどを考えた場合、連続クローズ化プロセスへの期待は大きなものがある。この期待に応えるプロセスとして具体化されている、かつ非粘結炭の多量使用が可能な設備として国家プロジェクトとなつている連続成型コークス製造法 (FCP) がある。図14に 200 t/d のパイロットプラントの設備フローを示す<sup>25)</sup>。このプラントの特徴は成型炭の乾溜方法であり、成型炭の各温度域にマッチした昇温速度を与

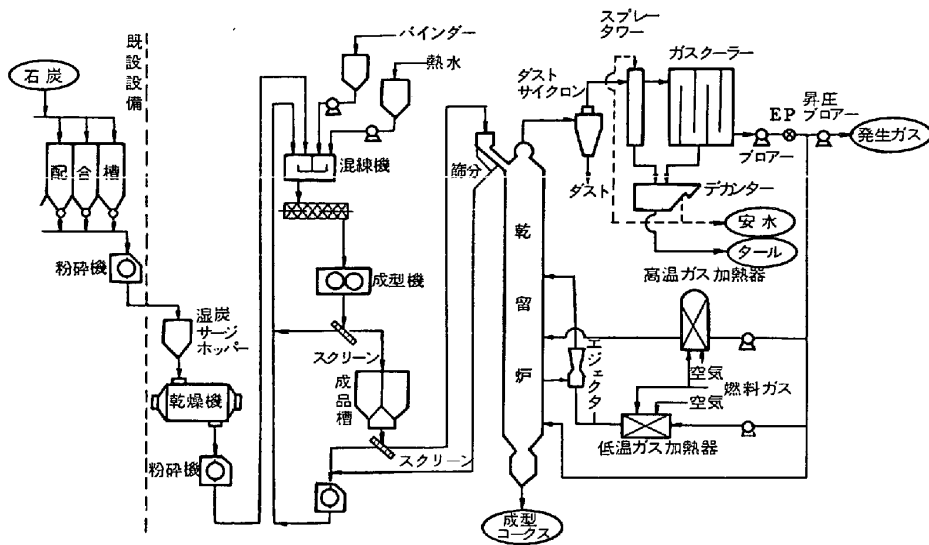


図14 FCP パイロット・プラント・プロセスフロー(200 t/d)

えて理想的なヒートパターンを得られるようにくふうしている。近い将来、このテストプラントの実験結果や室炉式コークス炉における乾溜の研究から、より効率的なコークス製造プロセスが登場することを期待したい。

## 6. お わ り に

鉄鋼業の将来の方向として、ミニミルの設置、原子力の利用、溶融還元法などが研究され、一部実行に移されている部分もある。しかし、エネルギー事情が現状からとてつもなく大きな変化をしない限り、21世紀も高炉による現在の製鉄プロセスが存在する可能性は大きい。高炉は熱的にも反応炉としても効率の高い集合プロセスであり、かつ炉内のメカニズムを解明し制御手段を獲得することにより、更にプロセスとしての効率を高め得る可能性を秘めているからである。高炉の効率の良さによる競争力を維持・強化するためには設備投資を積極的に行い老朽化を防ぐと共に、コストプッシュ要因をできるだけ抑制するための設備開発、技術開発に果敢に挑戦していく必要がある。微粉炭吹き込みなどの代替燃料吹き込み技術は資源事情、製鉄所全体を見渡したエネルギーバランスにおけるガス評価、コークス炉能力等の、時代に応じた価値観を正しく持ち、時期を失することなく積極的に推進してゆくべきである。

このような努力を続ける限り、製鉄部門の未来は、まだまだ夢のある明るいものとなつてゆくだろう。

## 文 献

- 1) 斎藤 汎: 鉄鋼界 昭和 56 年 4 月号, p. 53
- 2) 山本哲也: 鉄と鋼, 68 (1982) 1, p. 49
- 3) 田中基義: 鉄鋼界, 昭和 56 年 8 月号, p. 34
- 4) 須沢昭和, 加茂谷大, 井口和夫, 岡崎安夫, 串岡清, 小川秀治: 鉄と鋼, 67 (1981) 4, S 116
- 5) 高橋洋光, 国分春生, 久保秀穂: 鉄と鋼, 68 (1982) 2, A 1

- 6) 川辺正行, 竹村頼二, 和栗真次郎, 梶原豊太, 馬場昌喜, 石川 泰, 長谷川晟, 南 昭三: 鉄と鋼, 68 (1982) 2, A 17
- 7) 加瀬正司: 鉄と鋼, 68 (1982) 2, p. 200
- 8) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第 22 回コークス部会 (1981.6) 新日本製鉄(株) 新日本製鉄化学(株) (私信)
- 9) 北川功生: 鉄鋼界 昭和 57 年 1 月号, p. 38
- 10) 研野雄二, 楯岡正毅, 須賀田正泰, 山口一成, 久米正一, 山口一良, 安倍 勲: 鉄と鋼, 65 (1979) 10, p. 1553
- 11) 奥村和男, 河合隆成, 丸島弘也, 高橋洋光, 栗原淳作: 鉄と鋼, 66 (1980) 13, p. 1956
- 12) 飯塚元彦, 岸本純幸, 渋谷倂二, 福島 勤: 鉄と鋼, 66 (1980) 13, p. 1966
- 13) 梶川脩二, 山本亮二, 中島龍一, 岸本純幸, 脇元一政: 鉄と鋼, 68 (1982) 3, p. 410
- 14) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第 58 回製鉄部会 (1981.5) 新日本製鉄(株) (私信)
- 15) 須沢昭和, 三国 修, 奥野嘉雄, 原 義明, 今井徹, 高城俊介: 鉄と鋼, 68 (1982) 2, A 5
- 16) 梶川脩二: 学振 54 委-No. 1592 (昭和 57 年 2 月)
- 17) 例えば, 樋谷暢男, 田口整司, 河合隆成, 一藤和夫, 佐藤政明: 川崎製鉄技報, 13 (1981) 4, p. 65
- 18) 田村健二, 斧 勝也, 西田信直: 鉄と鋼, 67 (1981) 16, p. 2635
- 19) 葛西栄輝, 小林三郎, 大森康男, 許 彦斌: 鉄と鋼, 68 (1982) 4, S 53
- 20) 須沢昭和, 奥野嘉雄, 中川美男, 細谷陽三, 高田司, 佐藤 力: 鉄と鋼, 67 (1981) 4, S 41
- 21) 梶川脩二, 堤 一夫, 田中邦男, 小松 修, 浜谷正司, 北島一嗣, 川田 仁: 鉄と鋼, 68 (1982) 4, S 57
- 22) 佐々木盛治, 粉 康則, 藤木 渉: 鉄と鋼, 66 (1980) 11, S 628
- 23) 矢野茂慶, 佐藤憲一, 増田和生, 東風平玄俊, 清家藤助, 植田 稔: 鉄と鋼, 67 (1981) 12, S 694
- 24) 木村英雄: 鉄と鋼, 64 (1978) 14, p. 2257
- 25) 美浦義明: 第 2 回石炭利用技術研究発表会講演集 (私信)