

製鉄工程における省エネルギー*

高 城 俊 介**

Energy Saving in Ironmaking Processes

Shunsuke TAKAGI

1. 緒 言

戦後、わが国の鉄鋼業は、内外の旺盛な需要に支えられ非資源国ながら臨海製鉄所方式により、海外の良質な原燃料を大規模に開発入手し、新鋭大型製鉄所のスケールメリットと相まつて、低コストを実現し、高度成長をとげた。しかしながら、昭和 48 年末の石油危機に端を発した、エネルギー価格の高騰と、それに伴う世界的景気の停滞の中で、安定成長路線へと転換をうながされ、低生産下におけるコスト低減、特に価格高騰したエネルギーの節減が、経営上大きな課題となつた。

日本のエネルギーは 77% 石油系に依存し、石炭系は 15% であるが、この石炭の 80% を鉄鋼業が使用している¹⁾。製鉄部門は、石炭を精錬用の原料及熱源として使用するとともに、副生したガスを製鉄所内で 2 次エネルギーとして再利用しており、現在の日本において石炭エネルギーを最大限に活用している産業部門といえることが

できる。

エネルギー多消費産業といわれる鉄鋼業にあつて、製鉄部門は、一次購入エネルギーの約 90% を消費するが約 20% を他工程へ送り出しており²⁾、製鉄部門のエネルギー構造が製鉄所全体のエネルギーバランスを決めるといつても過言ではない。したがつて、製鉄部門のエネルギーを論ずる場合、他との関連を常に考えておく必要があるが、その問題は別報³⁾へ譲るとして、本解説においては製鉄部門内に限定して省エネルギー諸対策を概括する。又フェロアロイ工業の省エネルギーについても述べる。

2. 製鉄工程のエネルギー事情

2.1 高炉燃料比とエネルギーバランス

一貫製鉄所のエネルギー消費に占める製鉄工程の割合は、70% 強であり、約 55% は高炉で使われる(図 1)⁴⁾。この内約 85% が燃料比(コークス比+重油比+タール

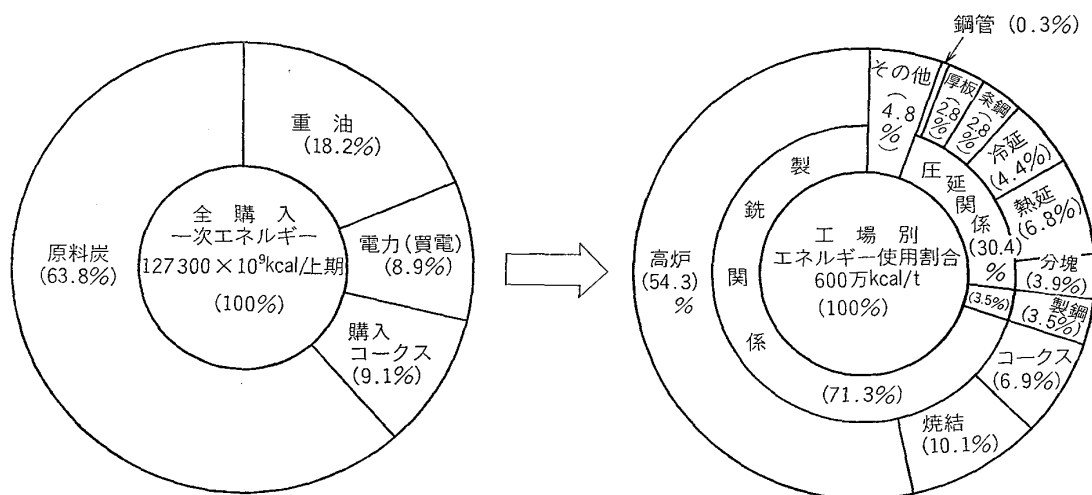


図 1 購入エネルギーと工場別使用割合（最終消費）

* 昭和 53 年 3 月 31 日受付 (Received Mar. 31, 1978) (依頼技術資料)

新日本製鉄(株)生産管理部 (Production Control Department, Nippon Steel Corp., 2-6-3 Ōtemachi Chiyoda-ku Tokyo 100)

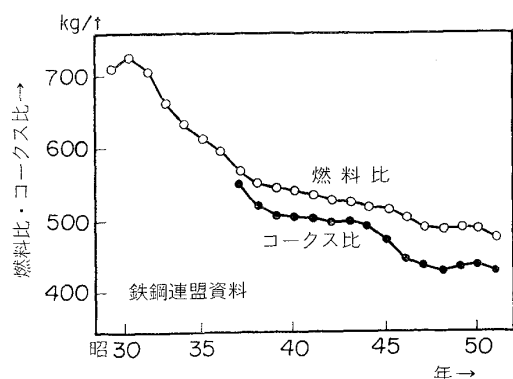


図 2 燃料比コークス比の推移

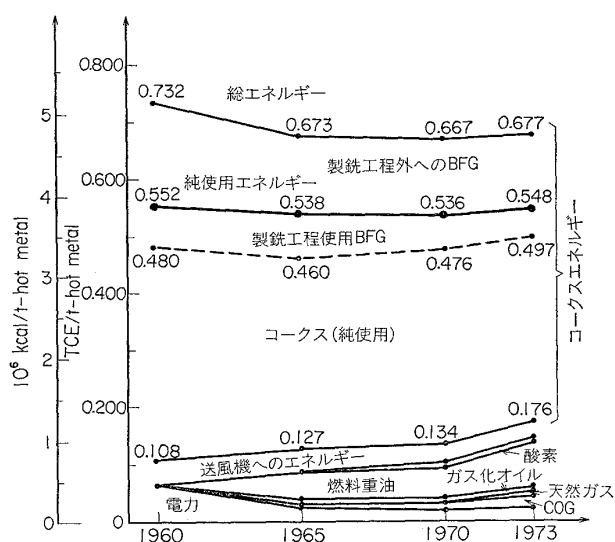


図 3 製鉄工程のエネルギー消費

比) という形で使われており、燃料比の低減が製鉄部門のエネルギー低減に及ぼす影響は非常に大きいことが予想される。しかしながら、昭和 35 年から 50 年の 15 年間に行なわれた燃料比の低減は、図 2 によれば約 20% であるのに対し、図 3⁵⁾ に示される同時期の鉄鋼製造エネルギー使用はほぼ横這いである。この理由は、高炉燃料比の低下は冶金反応プロセスの改善によつてもたらされるものであり、この改善のための方策にエネルギーが違った形で使われること、および燃料比の低下により副生する BFG, COG, タールなどが減少しインプットされる熱量は減つても、ネットではそれ程効かないためである (図 4²⁾)。この間の事情については後程考察を加える。

2.2 製鉄工程におけるエネルギー効率と排熱回収

粗鋼年産 1000 万 t 規模の一貫製鉄所の例によると²⁾ 製鉄工程に投入される一次エネルギーのうち、鉄鉱石の還元熱として 23.0%、高炉から転炉へ送られる溶鉄の潜熱として 16.0%、自部門で消費する分を除き他部

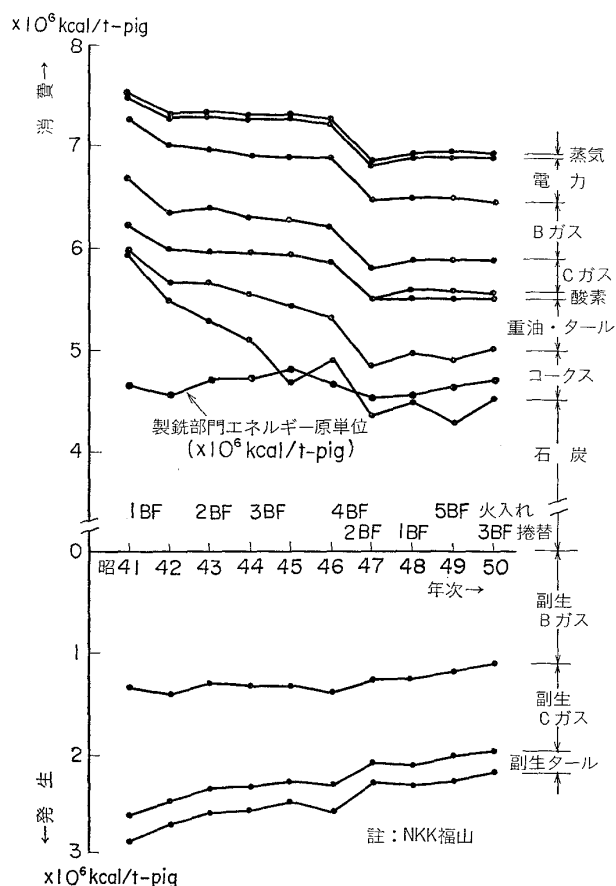


図 4 製鉄部門エネルギー原単位の推移

門へ送る COG, BFG がそれぞれ 12.0%, 12.8% を占め、これらの和 63.8% は有効に利用されたということがいえる。この残りの 36.2% が何らかの形で排出されていることになるが、これは約 $1600 \times 10^3 \text{ kcal/t-H.M.}$ に相当する。これら排エネルギーのうち回収の対象となる可能性のあるものが、Table 1⁶⁾ にリストアップされている。製鉄工程のネットエネルギー約 $4400 \times 10^3 \text{ kcal/t-H.M.}$ の 26.8% に相当する値であり、前述の未利用エネルギー $1600 \times 10^3 \text{ kcal/t-H.M.}$ の約 74% に当たる。

しかし表 1 の項目について実際に排エネルギーの回収を行なおうとすると、一般に下記のような特徴があり解決すべき課題が多い²⁾。

- (1) 設備ごとの排出量が加熱炉などに比べて格段に大きく、簡単に取扱いにくい。
- (2) 一部を除いて、排出温度が高温側か低温側に偏在し、比較的回収しやすい $500^\circ\text{C} \sim 700^\circ\text{C}$ の範囲のものが少ない。
- (3) 排出時に多量のダストや腐蝕性の成分を含有したりしているので取扱いが難しい。
- (4) 特に既設設備では、回収後の用途の選択と設置スペースに問題がある。

表1 製鉄部門の回収可能と考えられる排エネルギー

	排エネルギーの種類	排エネルギー量 (kcal/t-製品)	排エネルギー量 (kcal/t-銑鉄)
コークス炉	コークス 顕熱	390×10^3 kcal/t-コークス	181×10^3 kcal/t-銑鉄
	副生品 顕熱	337×10^3 //	157×10^3 //
	排ガス 顕熱	98×10^3 //	46×10^3 //
焼結炉	焼結 鉍 顕熱	750×10^3 kcal/t-焼結鉍	195×10^3 //
	焼結メイン 排ガス	92×10^3 //	120×10^3 //
高炉	スラグ 顕熱	134×10^3 kcal/t-銑鉄	134×10^3 //
	炉頂ガス 顕熱	56×10^3 //	56×10^3 //
	炉頂ガス 圧力	100×10^3 //	100×10^3 //
	冷却水 損失	82×10^3 //	82×10^3 //
熱風炉	排ガス 顕熱	74×10^3 //	73×10^3 //
	冷却水 損失	33×10^3 //	33×10^3 //
合 計			1177×10^3 //

(但し 高炉コークス比 400kg/t-銑鉄, 焼結鉍原単位 1200kg/t-銑鉄) とした。

(5) 高炉スラグのように、資源再生と並行しての技術開発が要請される。

これらの課題を克服して現時点で既に確立した技術とみなせるものもいくつかあり、詳細は別項で述べるが、コークス顕熱回収技術、焼結鉍及ペレット顕熱回収技術、高炉炉頂圧回収技術、熱風炉排熱回収技術の4つによる排エネルギー回収量の合計は 255×10^3 kcal/t-H.M. 程度となり⁶⁾、Table 1 の回収対象エネルギー量 1180×10^3 kcal/t-H.M. の 21.6% に相当し、粗鋼トン当り必要エネルギー約 6000×10^3 kcal の 4.4% にあたる。

3. 製鉄工程の省エネルギー対策

高炉燃料比に代表されるように、製鉄工程における燃料は、単に熱源ということだけではなく、冶金反応に必要な原料としての意味合いが濃厚である。したがって省エネルギーを考える場合、冶金反応プロセスの改善と切離して考えることはできない。製鉄部門が、「省エネルギー」が呼ばれる以前から燃料比低下に力をそそいできたのは、まさにこのためであり、コークス、焼結についても同様のことがいえる。

一方、反応の結果として生ずる副生ガス、タールなどを他工程へ供給する関係上、全体のエネルギーバランスを離れては論じられないし、代替となる他の燃料との価格差を考慮しなければならない。

すなわち、製鉄のエネルギー原単位は、単に、熱量 (kcal) のみをもつては論じられず、

(1) 石炭、鉍石の性状による、最適条件の設定

(2) 製鉄所全体のエネルギーバランスにおける副生ガスなどの評価

(3) 石炭を含めた各種燃料の価格差

を充分配慮しつつ、決定されねばならない。

しかしながら、本章では以上のことを頭に置きながらも、一つ一つの低減技術について独立に述べてみる。

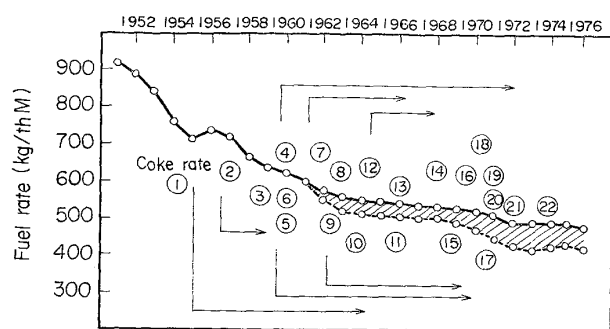
3.1 高炉燃料比低減技術

高炉燃料比の低下が、必ずしも製鉄工程のネットエネルギー低下に大きくは結びつかないこともあるということ述べたが、低燃料比は高炉の製錬プロセスの安定を意味するとともに、ほとんどを輸入に依存する高価な原料炭の節減による低コスト操業の決め手として、戦後一貫し、製鉄技術の主要目標として追求が行なわれて来た。今後もこの事情は簡単には変わるものではなく、さらに燃料比低下への努力は続けられるであろう。

図5⁷⁾に燃料比と、製鉄技術の進歩の推移を示す。この技術の進歩をステップを追ってまとめると、次のようになる。

(1) 第1ステップとしては、先ず「高炉の通気性の確保」のための手段として、炉内空隙率の向上を目的とした、鉍石及コークスの整粒、コークス強度の向上、スラグ量を減少させるために、コークス灰分の低減、鉍石 Fe 分の上昇などが行なわれた。粉鉍は焼結され、さらに自溶性化されて還元性状も飛躍的に向上した。

(2) 第2ステップとして「複合送風技術の確立」が挙げられる。第1ステップにより通気性の確保がなされた結果、高温送風が可能となり、高温送風による羽口先温度の上昇に対しては、湿分添加、次いで重油吹込により調整され、酸素富化はさらに多量の重油吹込を可能にした。これによる ore/coke の上昇による通気障害には、高压操業技術が偉力を発揮した。



- | | |
|--------------|--------------------|
| ① 整粒強化 | ⑪ 高圧操業の普及 |
| ② 自溶性焼結鉱の開発 | ⑫ 輸入ペレットの使用 |
| ③ 自溶性焼結鉱への転換 | ⑬ 高温熱風炉の増設 |
| ④ 大型高炉の建設 | ⑭ ペレット比の増加 |
| ⑤ 羽口への燃料吹込開始 | ⑮ 超高圧高炉の建設 |
| ⑥ 複合送風 | ⑯ 酸素高富化操業の普及 |
| ⑦ 送風温度上昇 | ⑰ 燃料多量吹込 |
| ⑧ 酸素上吹転炉の普及 | ⑱ コンピューター制御 |
| ⑨ 高圧操業の採用 | ⑲ 10000t/d高炉の建設 |
| ⑩ 燃料多量吹込開始 | ⑳ 成型炭配合コークスプロセスの開始 |
| | ㉑ 装入物分布制御の本格化 |
| | ㉒ 脱湿送風の開始 |

図 5 日本の燃料比と製鉄技術の進歩の推移

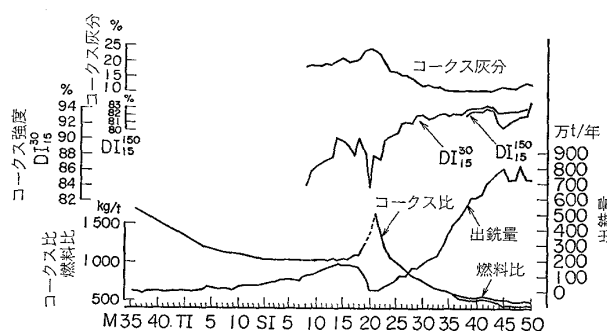


図 6 コークス品質と高炉操業成績の推移 (八幡製鉄所)

(3) 第3ステップは「炉内還元ガス利用率の向上とそのコントロールシステムの発展」である。高炉解体調査を頂点とする、炉内反応プロセスの研究の成果により、装入物性状の改善、装入物分布の改善などが適切に行なわれ、検出端情報、コンピューターの駆使と相まって、ガス利用率の大巾な向上が得られた。

以上のステップに見られるように製鉄技術の進歩は理にかなった発展をしてきた訳であり、その時々に応じ大胆に新技術に挑戦した先人の努力は賞讃に値する。

以下燃料比低減に寄与する要因を簡単に追って見る。

3.1.1 コークス品質の向上

高炉内において、コークスは、熱源、還元剤、炉内空隙率確保という三つの役割を果たしており、高炉安定操業の基礎となっている。他の燃料比低減技術が、コークス品質、なかんずく強度のベースの上に成立っているわけであり、複合された形において高炉成績向上に現われた例を図6に、大型高炉における通気性向上に対する

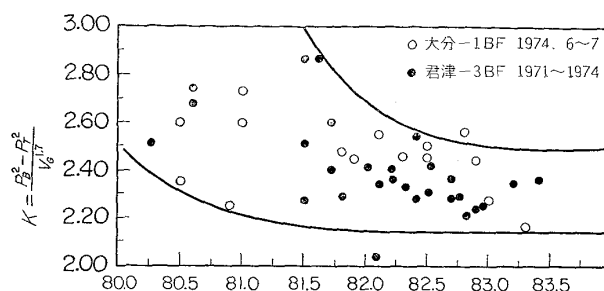
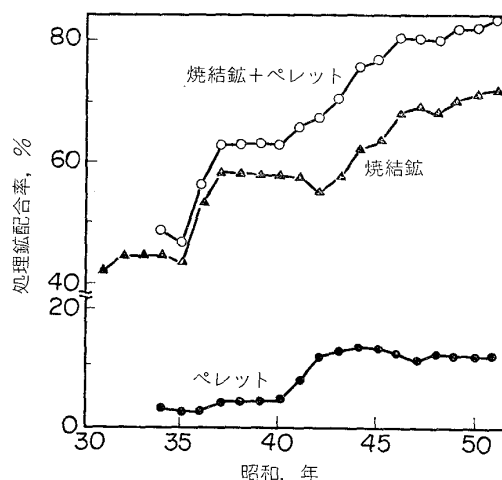
図 7 コークス強度 (Df_{15}) と通気性の関係 (新日鉄, 君津, 大分)

図 8 処理鉄配合率の推移 (鉄鋼連盟作業調査表より)

影響を図7に示す。

3.1.2 鉄鉱石事前処理

鉄鉱石を破碎篩分して整粒する事前処理技術は、戦前にもその効果は確認されていたが、戦後エトナ技術調査団の勧告などもあつて、多くの製鉄所でとり入れられた⁹⁾。最近では粒度範囲は10~25mmに締められるとともに、熱割れを示す鉱石や、被還元性の悪い鉱石は積極的に全量粉碎して、焼結原料とすることも行なわれている¹⁰⁾。

3.1.3 塊成鉱 (焼結鉱, ペレット) 配合比の増加

鉄鉱石事前処理の強化による篩下粉の発生、および塊成に比し安価な粉成の使用増を背景に、昭和30年代の前半から、本格的に自溶性焼結鉱の製造が始つた。自溶性焼結鉱は還元性が良好であるとともに、軟化熔融性状にすぐれ、炉下部の通気性を向上させる。一方ペレットは、昭和28年から国内で本格生産が初まり、輸入も昭和38年から長契ベースで行なわれるようになった。ペレットは、ふくれ、高温における還元停滞、軟化熔融特性などから見て、焼結鉱に比し優位性は必ずしも認められなかつたが、自溶体化、ドロマイトの添加などにより性

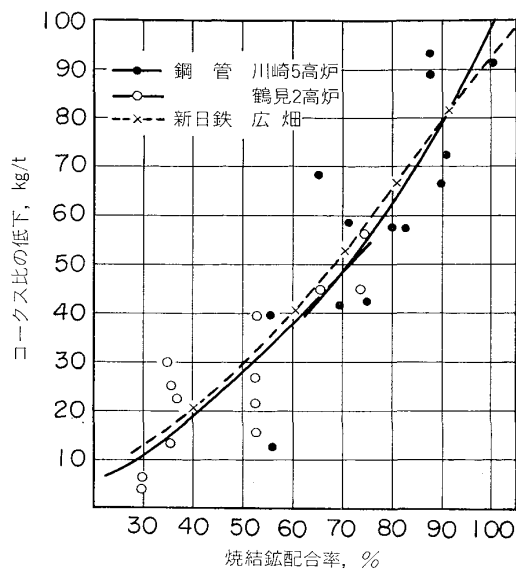


図9 焼結鉄配合率のコークス比低下によぼす効果

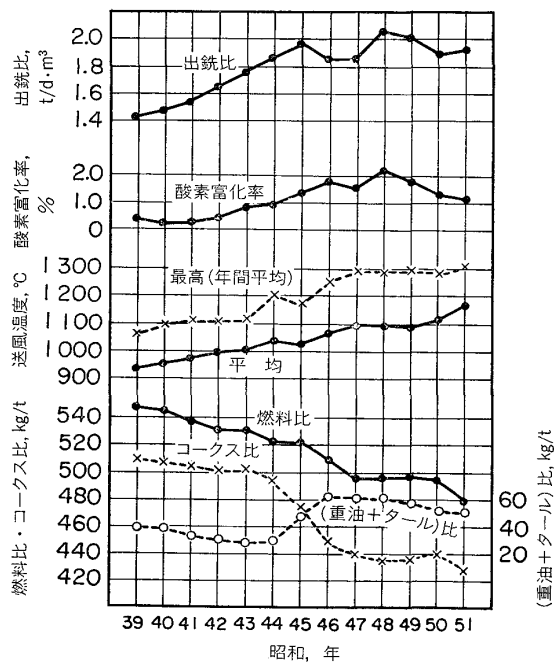


図10 出鉄比・酸素富化率・送風温度・燃料比・コークス比(重油+タール)比の推移(全国平均)

状が改善され、焼結鉄と同等のものがつくられるようになった。図8に塊成鉄比配合率の推移、図9¹¹⁾に焼結鉄配合率のコークス比低下に及ぼす影響を示す。

3.1.4 複送風および高圧操業

原料面で通気性に対する改善が進むと、積極的にore/cokeを上げてコークス比低下をねらうことが可能となる。先ず高温送風が行なわれ、羽口先温度の過熱には水分添加を行なつて対処がなされた。この水分は、炉内ガスの H_2 源としても有効に働き、還元効率の向上に役立

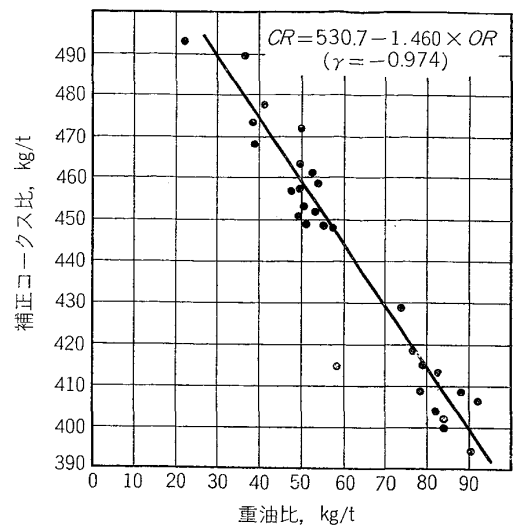


図11 新日鉄・戸畑2高炉における重油比と修正コークス比

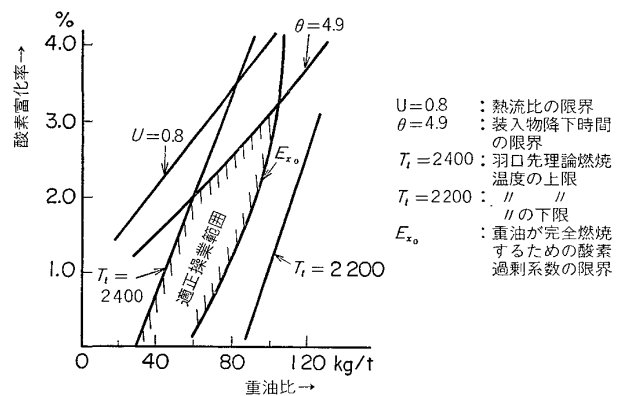


図12 重油吹込の適正操業範囲

つたが重油吹込の導入とともに、羽口先温度対策、水素源対策共にその使命を重油に譲り、最近では逆に脱湿が行なわれ、羽口における吸熱減少に役立っている。脱湿の効果についての詳細は別報¹²⁾に譲るが、表2¹³⁾のごとく $10g/Nm^3$ の減少で $6\sim 10 kg/t-H.M.$ の燃料比減があるといわれている。酸素富化は出鉄比の向上を目指して行なわれ、同時にこれは重油の大量吹込を可能にしたが、このところ出鉄減の必要とともに、富化率が低下している。図10に送風温度、重油吹込量酸素富化率の推移を、図11¹⁴⁾に重油多量吹込の成功例を示す。複送風の理論により、それぞれの組合わせの適正範囲が追及され、a) 重油の完全燃焼の限界、b) 羽口先理論燃焼温度の限界、c) 熱流比の上限および限界滞留時間の下限などの制約範囲が求められ、スムーズな操業の継続に役立っている例を、図12¹⁵⁾に示す。

高圧操業設備は、昭和37年に導入され、以後新設される高炉はほとんど高圧高炉となり、普通圧高炉も改

修時に高圧化されるケースが多い。現在の最高炉頂圧は 3.0 kg/cm^2 であり、 3000M^3 以上の高炉はすべて $2.0 \sim 3.0 \text{ kg/cm}^2$ を採用している。高圧操業の利点は2つある。すなわち、炉内ガスの上昇エネルギーがある範囲を越すと、棚、スリップ、吹抜けなどの通気異常を起こすので送風量に限界が生ずるが、炉頂圧を上げ、炉内ガスの流速を低下することにより、限界を超えて操業が可能となること、およびガス圧力の上昇によつて還元反応が促進され、かつガス流の整流化により、ガスと固体との熱交換が促進され燃料比が低下する、の2点である。高圧操業の解析例を図13¹⁶⁾に示す。

3.1.5 装入物分布の改善によるガス利用率向上

羽根部から上昇する還元ガスを効率よく鉱石と反応させ、ガス利用率を上げることが、燃料比低下のポイントであるが、そのためには炉内におけるガスと固体の挙動を明らかにする必要がある、さらにそれをよりよい方向に転換する手段をもつ必要がある。炉内状況の検出手段

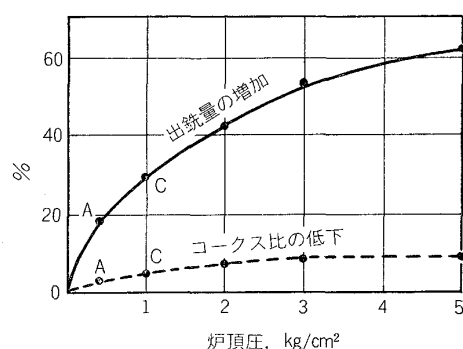


図13 出鉄量増および燃料比減におよぼす炉頂圧の効果

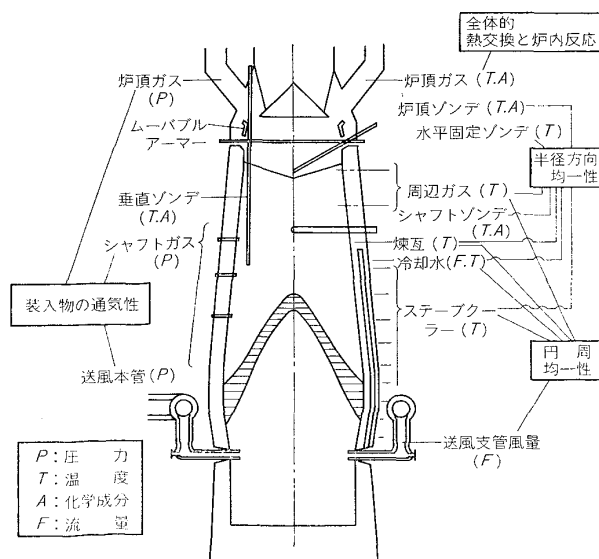


図14 高炉々内反応検出端

が、炉頂、シャフトにおける温度、圧力分布測定をはじめとする、多くのセンサーであり、改善する手段が、ムーバブルアーマー、旋回シュート式装入装置である。両者を、炉内解体調査などから得られた炉内状況の知見をもとに、数式モデルなどによつて結びつけ、炉内の中心、周辺、中間部における、鉱石、コークスのバランスをコントロールすることによつて、適切なガス流分布を得て、最大限の還元ガス利用が追及されている。図14¹⁷⁾に高炉検出端の一例を、図15¹⁸⁾にムーバブルアーマー使用前後のガス利用率の変化の例を、図16¹⁹⁾にその際のシャフト温度パターンの変化状況を示す。ムーバブルアーマーの適切な使用により、 10 kg/t-H. M. 程度の燃料比低下は充分可能であり、高温送風、焼結高配合のように他のエネルギーを投入する必要がないのでその省エネルギー効果も大きい。

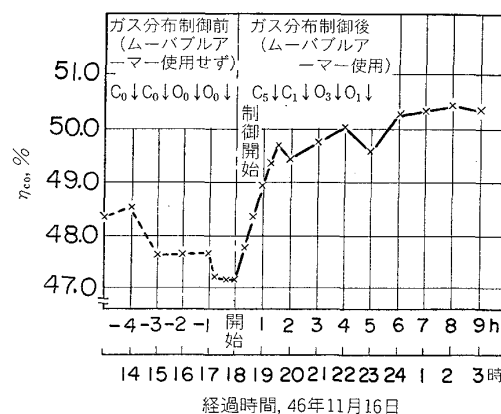


図15 ムーバブルアーマーによる分布制御開始前後のガス利用率変化

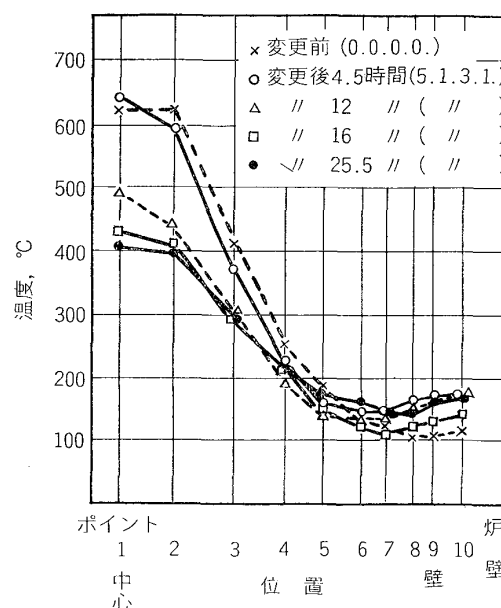


図16 ムーバブルアーマーによる分布制御開始後の分布パターン変化

表2 コークス比低減のための操業因子と効果

因 子	措 置	効 果	備 考
重 油 電 化	⊕ 1 kg/t-pig	⊖ 1.0~1.4 kgCR.	適用 50~100 kg-oil/t-pig
送 風 温 度	⊕ 100°C	⊖ 8~20	900~1 250°C
湿 分	⊖ 10 g /Nm ³	⊖ 6~10	
焼 結 鉱	⊕ 10%	⊖ 5~10	
ペ レ ッ ト	⊕ 10%	⊖ 5~10	0~20%
副 原 料	⊕ 10 kg/t-pig	⊖ 2~3	
コークス中灰分	⊖ 1%	⊖ 5~10	
石 鉄 整 粒 の 強 化	8~40→8~30 mm 8~30→10~25 mm	⊖ 10~13 ⊖ 5~7	30~40%使用
原料中 5 mm以下比率	⊖ 1%	⊖ 4~7	
溶 鉄 中 Si%	⊖ 0.1%	⊖ 4~7	
ス ラ グ 比	⊖ 100 kg/t-pig	⊖ 15~25	250~350 kg/t-pig
還 元 ペ レ ッ ト	⊕ 10%	⊖ 15~25	Total Fe 67~69% Metal Fe 38~41%
炉内平均ガス流速	⊖ 0.1m/s	⊖ 2.5~3.0	2.5~5.0m/s

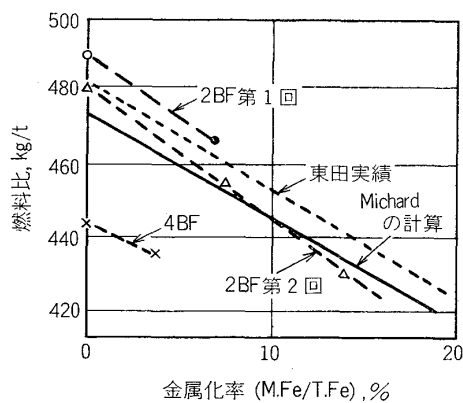


図 17 装入物金属化率と燃料比の関係

3.1.6 半還元鉱の使用

高炉に装入される鉄鉱石類がある程度還元されていれば、炉内で還元熱分だけ燃料比が下ることになる。ダスト処理を目的として、還元ペレットを製造し、高炉へ装入することが各所で行なわれているが、図 17²⁰⁾ はその一例である。ダスト処理以外では、省エネルギー的にもコスト的にも今のところ引合わない。

3.1.7 燃料比低減のための操業因子と効果

高炉燃料比の改善は、製鉄部門の技術の結集として積上げられて来たが、各操業因子とその効果をまとめて表 2 に示す。

3.1.8 高炉燃料比低下の展望

今後の燃料比低減策の展望について述べる。現在の記録は、新日鉄君津 3 BF が、昭和 50 年 3 月につくった 431 kg/t-H. M. (コークス 365 kg/t, 重油 66 kg/t) であり、現実的な当面の指標と考えられる。表 3²¹⁾ はそのときの操業諸元である。

今後の目標、あるいは限界について、2 つの報告が最近なされ²¹⁾²²⁾、その結果をまとめたのが、表 4 である。これらの実績および推定からすると、既存の技術を積極的に採用した場合、近い将来のベスト高炉の目標は 425~430 kg/t-H.M. が妥当な線であり、既存技術に加え新たな技術を開発導入するとともに、原料面での改善が加われば、遠い将来の目標として 400~405 kg/t-H.M. が目途となる。

3.1.9 高炉操業因子の変化と製鉄トータルエネルギーの関係

操業要因を変化させ燃料比の低減をはかる場合に、トータルエネルギーがどう変化するかは興味深いところであり、その検討がいくつかなされている。図 18²³⁾ はその一例であり、製鉄所ベースの購入エネルギーの増減を論じているが、他部門に変化がなければ、製鉄のエネルギー変化と考えられる。図 18 によれば、燃料比低下策のうち、ガス利用率の向上、重油吹込の増はエネルギー

表 3 君津 3 高炉燃料比記録 (昭 50.3) 時の操業諸元

項 目	デ ー タ	項 目	デ ー タ
出 出 鉄 量 コ ー ス 比 重 燃 油 料 比 送 O/C 風 量 酸 風 温 素 送 風 湿 度 送 風 頂 圧 力 炉 結 配 合 焼 レ ッ ト 比 ベ 成 鉍 比 塊 コ ー ク ス 灰 分	9 533 t/d 2.35 t/m ³ /d 365 kg/t 66 kg/t 431 kg/t 4.47 — 6 374 Nm ³ /min 5 476 Nm ³ /h 1 316°C 7.1 g/Nm ³ 2 279 g/cm ² 92.5% 7.5% 100.0% 12.0%	ス ラ グ 量 溶 銑 温 度 銑 中 [Si] 炉 頂 温 度 ガ ス 利 用 率 焼 結 鉍 中 FeO ソ ル シ ョ ン 平 均 粒 度 直 接 還 元 率 水 素 還 元 率 間 接 還 元 率	323 kg/t 1 508°C 0.30% 107°C 51.9% 7.0% 19.1 mm 97.4 kg/t 32.9% 9.7% 57.4%

表 4 高 炉 燃 料 比 の 限 界 に つ い て

(モデル 1: 第 50 回製鉄部会 (討) 鋼管福山)
(モデル 2: 第 51 回 “ ” (”) 新日鉄君津)

項 目	単位	モ デ ル 1					モ デ ル 2		
		ベース	近 い 将 来		遠 い 将 来		ベース	将 来	
		諸 元	諸 元	F R 効果	諸 元	F R 効果	諸 元	諸 元	F R 効果
燃 料 比 コ ー ス 比 重 油 比	kg/ t % %	460 390 70	425 355 70	△ 35	405 335 70	△ 55	455 379 75	402 330 72	△ 53
S P R ス ラ グ 比 コ ー ク ス 灰 分 送 風 温 度 送 風 湿 度 銑 中 Si シ ャ フ ト 効 率 炉 体 熱 損 失 度 溶 ガ ス 利 用 率 ガ 装 入 物 FeO ソ リ エ ー シ ョ ン カ ー ボ ン 還 元 率 鉍 石 還 元 率	% kg/ t % °C g/Nm ² % — kcal °C % % % kg/ t %	80 325 11 1 240 12 0.50 0.94 — 1 520 — — — — —	88 310 11 1 300 5 0.40 0.96 — 1 520 — — — — —	△ 4 △ 4 0 △ 9 △ 5 △ 6 △ 7 0	88 310 11 1 300 5 0.4 0.98 ⊖2×10 ⁴ 1 470	△ 4 △ 4 0 △ 9 △ 5 △ 6 △ 14 △ 6 △ 7	100 321 11.7 1 275 10.7 0.35 — — 1 514 49.8 6.8 91.6 — 75	100 218 10 1 350 0 0.33 — — 1 514 57.8 0.0 95.5 — 75	

的に有利であり、送風温度の上昇、焼結鉍の増加は不利に作用する。しかし、これは各々単独に変化させた場合の試算であり、例えば送風温度の上昇は重油比の増加を伴うので両者複合すればエネルギー的に有利側となり、焼結鉍についても、安価な粉コークスのエネルギーが増加し、高価な塊コークスエネルギーが減少しているのでコスト的には有利に作用する。

IISI では、モデルプラントを設定し、そこにおけるエネルギー状況の変化を広範に検討しているが³⁾表 5 はその結果である。

3.2 高炉におけるエネルギー低減技術

高炉におけるエネルギー低減技術は、既に述べたよう

に燃料比が主体であつたが、最近排エネルギー利用技術として、高炉炉頂圧発電、および、熱風炉排ガス熱回収技術が実用段階に入つた。高炉炉頂圧発電の詳細については、別報²³⁾に譲るが、圧力エネルギーの回収という新しい方策を見出したこと、熱風炉排ガスについては平均 250°C という比較的低温排ガスからの熱回収という点で特筆すべきものである。炉頂圧発電のエネルギー回収量は、炉頂圧 2.0~2.5 kg/cm²、BFG 発生原単位 1 400~1 500 Nm³/t において、発電量 40 kWh/t、エネルギー回収量 60×10³ kcal/t でガス圧力エネルギーの 60% が回収され、熱風炉排ガス熱回収では、排ガス温度 250°C 排ガス量 800~900 Nm³/t の場合、20×10³ kcal/t が回

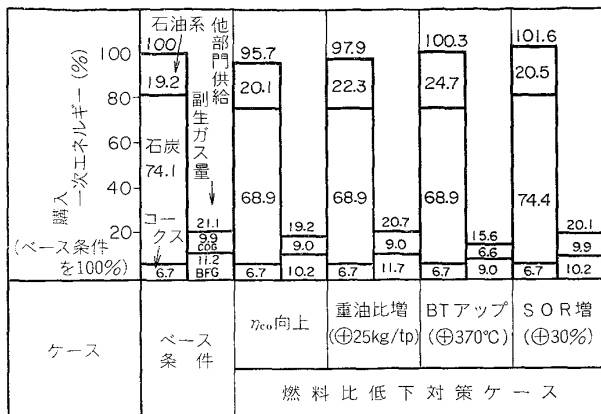


図 18 CR=⊖ 30 kg/T-P 時のエネルギーバランスの変化 (%)

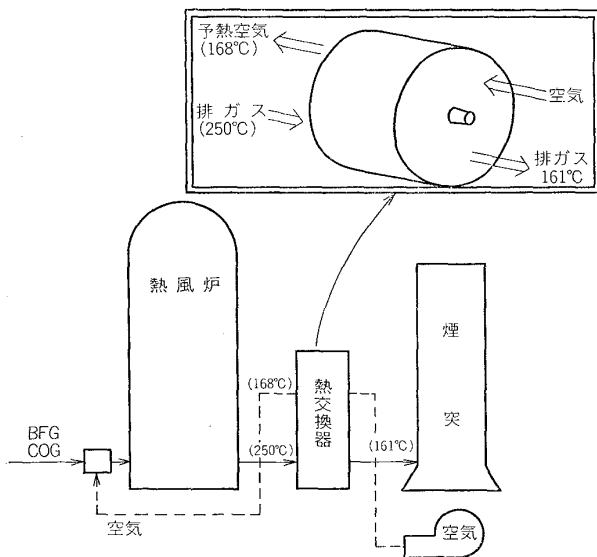


図 19 熱風炉排熱回収概念図

収され、排ガスエネルギーの約 30% に相当し、熱風炉熱効率を3~4%上げる結果となると報告されている⁶⁾。熱風炉排ガス熱回収のフローを図 19²⁴⁾ に示す。

今後の方向としては表 1 に示した排エネルギーの有効利用を企てて行くことになるうし、高炉スラグの顕熱の有効利用は、その再資源化技術と併行して進められるべきである。

3.3 コークス部門における省エネルギー

コークス部門のエネルギー問題を考える場合

- (1) 原料エネルギーとしての石炭
- (2) 石炭乾溜用の熱量原単位
- (3) コークス、発生ガス、燃焼排ガスなどの顕熱

の 3 点に分けて論ずる必要がある。

3.3.1 原料炭問題 (強粘結炭の節減 または 非粘結炭の利用)

日本の鉄鋼生産は過去著しい伸びを示し、昭和 48 年

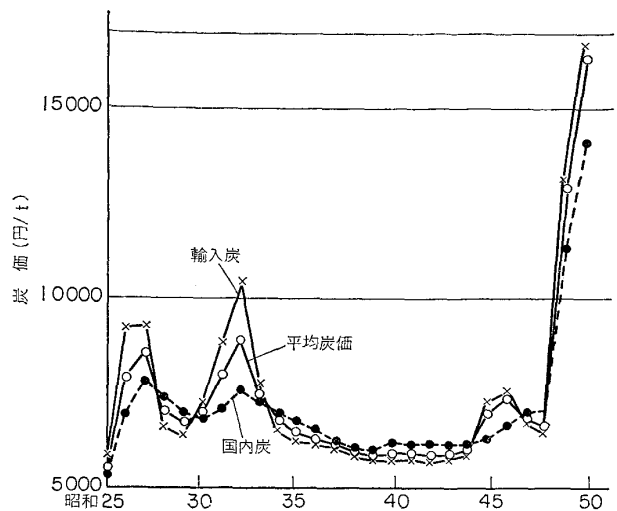


図 20 国内炭・輸入炭の平均価格推移 (CIF)

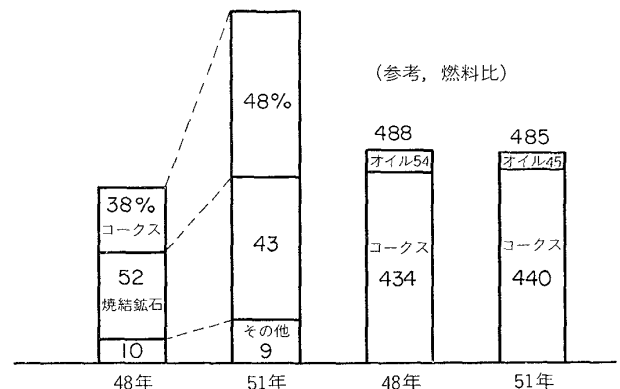


図 21 製鉄プロセスにおける主原料コスト比重の推移

には 1 億 2 千万 t に達し、その後景気の低滞により若干生産は低下したとはいえ、なお、1 億 t 台であり、これに要する原料炭は 6 千 500 万 t、国内炭約 1 千万 t を除いて 5 千 500 万 t を輸入している。輸入先は、米国、豪州、カナダを始めとして、世界各国であり、数多くの銘柄から、優秀な配合技術と事前処理によって、高品質の高炉用コークスを製造して来た。世界の石炭の埋蔵量は 6~8 兆 t といわれ、経済可採量はそのうち 4 300 億 t、原料炭はそのまた 20~30% といわれている。しかし、開発投資の増大や、労働力確保問題に加えて、環境保護対策、資源保護政策の台頭により開発テンポの遅れが目立ち、出炭の伸び率が大幅に向上することは期待できない。このような背景から、原料炭の消費量が年々増大する過程でその供給は逼迫の度を増し、供給の不安定化、品質の劣化、石油危機を契機とした価格の高騰などが大きな問題として顕在化した。量問題は最近の生産低下で一時的には緩和されているとはいえ、長期的に見れば何ら変っていない。図 20⁸⁾ は原料炭の価格上昇経過、図 21⁸⁾

表5 エ ネ ル ギ ー 消 費 に 及 ぼ す

		ベース条件 (モデルプラント)		条件変化	コークス, ペレット, 焼結プロセスにおける エネルギー変化 (10 ³ kcal/t-H.M.)	
原 料 条 件	焼結, ペレット比	焼 レ 結 ベ ッ ト	70% 30%	+10% -10%	焼 レ 結 ベ ッ ト ー タ ル	+ 89.9 - 47.3 + 42.6
	装入物中の精鉱比	焼 レ 結 ベ ッ 精 鉱	70% 30% 0%	-10% +10%	ペレット	- 47.3
	スラッグ比	スラッグ比	280 kg	+100 kg	コークス	+ 6.5
	コークス灰分	コークス灰分	11%	+1%	コークス	+ 4.9
	半還元ペレット	焼 レ 結 ベ ッ ト (酸性) 半還元ペレット	70% 30%	+112 kg	予備還元 コークス ー タ ル	+274.4 - 23.8 +250.6
補 助 燃 料 吹 込	吹込重油	コークス比 重油比	400 kg 65 kg	0 + 10 kg	コークス	-11.9
	重油置換 天然ガス	コークス比 重油比 天然ガス比	400 kg 65 kg 0	0 - 65 kg + 90Nm ³	コークス	+ 0.4
	コークス炉ガス	コークス比 重油比 コークス炉ガス比	400 kg 65 kg 0	0 - 65 kg + 196Nm ³	コークス	± 0
	石炭	コークス比 重油比 石炭比	400 kg 65 kg 0	0 - 65 kg + 80 kg	コークス	± 0
新 技 術	酸素富化	コークス比 重油比 酸素比	400 kg 65 kg 1.5 kg	(+1.7%) 3.2%	コークス	-19.4
	高温送風	コークス比 重油比 送風温度	400 kg 65 kg 1250°C	(-100°C) 1150°C	コークス	+32.4
	低湿度送風	コークス比 重油比 湿度	400 kg 65 kg 15 g/Nm ³	(-5 g/Nm ³) 10 g/Nm ³	コークス	-11.6
	高圧操業	コークス比 重油比 炉頂圧	400 kg 65 kg 2.5 kg/cm ² g	(-0.5 kg/cm ² g) 2.0 kg/cm ² g	コークス	+ 8.6
	変成ガスのボッシュへの吹込	コークス比 重油比 変成ガス比	400 kg 65 kg 0	-100 kg 0 351Nm ³	コークス	-108.0
鉄 中 [Si]		コークス比 重油比 [Si]	400 kg 65 kg 0.65%	+0.1%	コークス	+ 4.3

* モデルプラントのベースの溶鉄トン当りエネルギー消費は 4232×10³kcal/t-H.M. である。

高炉操業条件変化の影響

高炉操業におけるエネルギー変化					トータルエネルギー変化	
コークス比 (kg/t-H.M.) (10 ³ kcal/ t-H.M.)	重油比 (kg/t-H.M.) (10 ³ kcal/ t-H.M.)	電力 (kWh/t-H.M.) (10 ³ kcal/ t-H.M.)	ガス, その他 (10 ³ kcal/t-H.M.)	小計 (10 ³ kcal/t-H.M.)	(10 ³ kcal/t-H.M.)	%*
± 0	± 0	± 0	± 0	± 0	+43	+1.02
(もし良質の整粒鉱が使えれば、高炉のエネルギーは変化しないであろう.)				± 0	-47	-1.11
+ 6.0 + 43.2	± 0 ± 0	+ 2.1 + 5.1	- 10.5	+ 37.9	+44	+1.04
—	—	—	+ 2.3	+ 2.3	+ 7	+0.17
- 22.0 -158.4	± 0 ± 0	- 3.0 - 7.4	+ 11.2	-154.6	+96	+2.27
- 11.0 - 79.2	+ 10.0 +100.0	+ 0.6 + 1.4	- 13.7	+ 8.5	- 3	-0.07
+ 0.4 + 2.9	- 65.0 -650.0	+ 4.2 +10.4	+675.7	+ 39.0	+39	+0.92
± 0 ± 0	- 65.0 -650.0	+ 1.1 + 2.7	+691.2	+ 43.9	+44	+1.04
± 0 ± 0	+ 65.0 +650.0	- 1.5 - 3.7	+629.2	- 24.5	-25	-0.59
- 18.0 -129.6	+ 15.0 -150.0	- 7.9 -19.5	- 29.3	- 28.4	-48	-1.13
+ 30.0 +216.0	- 16.5 +165.0	+ 2.6 + 6.3	- 53.5	+ 3.8	+36	+0.85
- 10.7 - 77.0	+ 5.6 + 56.0	- 1.0 - 2.5	+ 22.1	- 1.4	-13	-0.31
+ 8.0 + 57.0	± 0 ± 0	- 8.6 -21.0	- 20.8	- 15.8	+24	+0.56
-100.0 -720.0	± 0 ± 0	-12.0 -29.4	+867.3	+117.9	+10	+0.24
+ 4.0 + 28.8	± 0 ± 0	+ 1.0 + 2.5	- 8.1	+ 23.2	+28	+0.66

プロセス名	プロセスフロー	効果	基本的な技術の位置
成型炭配合法		DI 150 2~1%up 非粘結炭使用可能量 5~10%	コークス品質対策技術 既存炉適用
予熱炭装入法		DI 150 2~4%up 非粘結炭使用可能量 5~10%	コークス品質対策技術 新設炉適用
粘結材添加法		流動性up→ DI 150 2~3%up 非粘結炭使用量目標 3~5%添加で5%	コークス品質対策技術 既設炉に適用可

図 22 期待される原料炭対策技術 (室炉式コークス炉)

表 6 製鉄各社の成型炭設備稼動状況

会 社	製 鉄 所	能力 (t/d)	稼動開始期日
新 日 鉄	八 幡 津* 君 大 分	2 400	1971年11月
		2 900	1976年10月
		2 400	1977年 4 月
日 本 鋼 管	京 福 浜 山	800	1973年 8 月
		3 000	1975年 9 月
住 友 金 属	和 歌 山** 鹿 島**	1 700	1975年 5 月
		4 700	1975年10月
神 戸 製 鋼	加 古 川***	3 000	1976年11月
合 計		20 900	

注) * 新日化所属, ** 住金化工所属, *** 関西熱化学所属

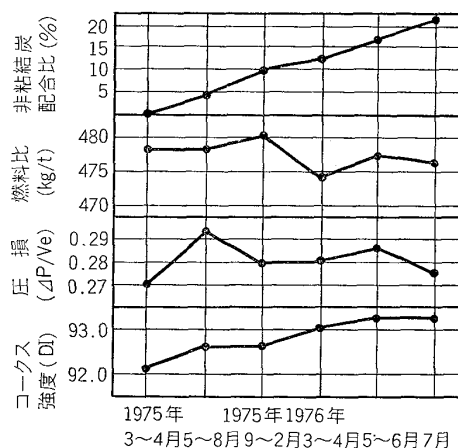


図 23 成型炭配合コークスによる高炉の操業経過

はその影響による鉄鉄原価の構成要素の変化である。

このような事態に対処するため高炉でのコークス比低下に努力する一方、コークス部門ではコークス品質の維持向上対策、並びに原料炭資源巾の拡大を指向した劣質炭の利用技術開発に取り組んでいる。

図 22⁸⁾ に室炉式コークス炉を対象とした劣質炭活用技術の代表例を示す。

成型炭配合法は、装入炭の 30~40% をあらかじめバインダーを加えて、ロール式成型機で成型炭とし、残りの装入炭と混合してコークス化する方法で、充填密度の上昇 (7~9%) と、乾溜過程における成型炭自身の膨張力による装入炭全体の粘結性向上効果を利用するのが本法の原理である。本法により、非粘結炭を 5~10%、条件によつては 20% 程度まで使用可能である。成型工程を付加するだけで既設のコークス製造設備がそのまま利

用できる利点があり、表 6²⁵⁾のごとく各所で採用され、高炉用コークスの約40%を占めるに至っている。図23²⁵⁾は本法による非粘結炭の使用割合と高炉操業への影響を表わしたものであり、20% まで問題なく使用されている。

予熱炭装入法は、石炭をあらかじめ 200°C 前後に予熱して装入する方法で、充填密度の向上 (10~13%) と乾溜時の石炭の軟化熔融特性の変化を活用する方法である。本法には予熱炭の搬送方法の違いにより、コールテックシステム (パイプ装入)、プレカーボンシステム (チェーンコンベア装入)、シムカシステム (装入車装入) などのプロセスがある。日本では、昭和 53 年度末に新日鉄室蘭で、プレカーボンシステムの稼動が予定されている。

粘結材添加法は、石炭の粘結性不足を、粘結材 (ピッチ

アスファルトなど)の添加混合により外部から補填する方法である。粘結材としては、石油系(アスファルト、熱改質ピッチ)、石炭系(タールピッチ、石炭の溶剤抽出物)の2種類がある。石油系は一部実用化されているがイオウ分の高いのが問題である。石炭系はまだ開発段階である。いずれにしても、粘結材はイオウ分と価格問題が今後の課題である。

以上の他、強度改善は上記程ではないが、オイリング、選択粉碎、乾燥炭装入などが行なわれ、成果を挙げている。

室炉式コークス炉では、以上の対策によっても、どうしても使用が制限される、非・微粘結炭の高率使用を目的として、成型コークス製造法の開発が進められている。

成型コークスは、その原料選択の特異性と形状から、室炉式コークスと比較するとかなり特徴に差があり、高炉用コークスとしての評価は、高炉使用試験を通じて始めて可能になる。1971年以降、数次にわたる高炉使用試験が行なわれ、成型コークスの品質に留意すれば、使用できる可能性がある、という感触を得るに至っており(図24²⁵⁾)、再び原料炭問題が深刻になる前に実用化しておくべき技術であろう。成型コークスの製造法を、その原料と成型法並びに乾溜方式の差によつて分類したものを、図25⁸⁾に示す。

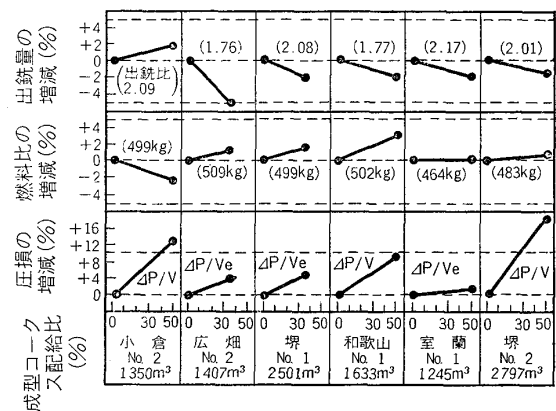
以上述べた幅広い原料炭対策技術を確立し、資源巾を拡大し、低価格炭を活用して量問題の緩和を企てること、熱量(kcal)の節減以上に、コークス部門の重要課題である。

3.3.2 石炭の乾溜過程における省エネルギー

図26⁸⁾は、石炭乾溜時の熱収支の一例である。これから省エネルギーのポイントは、以下の3点にあることが判る。

- (1) 全入熱の約90%を占める乾溜熱量の低減
- (2) 全出熱の約40%を占める赤熱コークスの顕熱回収
- (3) 発生ガス、排ガス顕熱の回収

コークス炉の石炭乾溜管理の目的は、各炭化室の乾溜終了時間を均一に維持する点にあり、このため各炭化室に関連する燃焼室の温度を均一に管理する必要がある。乾溜熱量削減の観点からは、各炭化室に装入する石炭の量の均一化と、各炭化室に対応する燃焼室への入熱量の均一化、および空燃比管理に基づく燃焼効率の向上、炭化室テーパーに応じた温度分布の適正化が重要である。一方、装入炭の量、水分などの条件変動に対応した入熱量



カッコ内は (成型コークス無配合時)の数値を示す

図24 成型コークスの高炉使用試験結果の比較

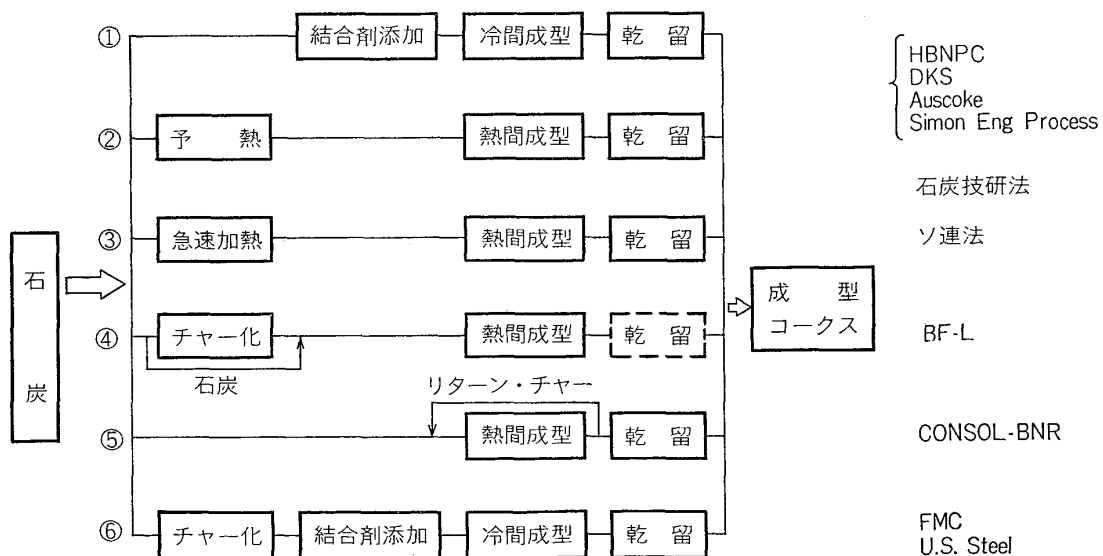


図25 成型コークスの基本原料と成型方式

のコントロールも必要である。従来これらは操炉者の熟練に頼る部分が多かったが、燃料ガスのカロリーコントロール装置の導入、および排ガス中 O_2 分析計と煙道ダンパーの連動化による空気比管理の自動化などが一般化されつつあるほか、これらと燃焼室の温度検出、炭化室の炭化終了検出とを組合わせた、トータルの燃焼管理システムの導入も進められている。燃焼管理自動化の効果として、 $10\,000\text{kcal/t-coal}$ の削減が報告されている²⁶⁾。

赤熱コークスの顕熱回収の詳細については別報²⁷⁾に譲るが新日鉄八幡の例では、乾式消火により、顕熱の 83% が蒸気として回収され、これはコークス炉総入熱量の約 40% に相当する⁸⁾。

発生ガス、排ガス顕熱の利用は、これらが保有する熱量の大きさに比べてその温度レベルが低く、これからの

課題であろう。

3.4 焼結部門における省エネルギー

焼結工程のエネルギーバランスは、図 27 に見られるごとく、入熱としては、86% が粉コークス、高炉灰などの固体燃料の燃焼熱として与えられ、出熱は、30% が石灰石、結晶水の分解熱などの反応のために有効に使われる他は、主排ガス、冷却器からの排熱などとして放出されている。

したがって、焼結過程における燃料消費低減法としては、粉コークスの燃焼効率改善を計ることによつて配合量を低下すること、および焼結ベッドの通気性改善により歩留向上を計り、結果として、粉コークスなどの原単位を低下させる入熱減対策、未回収エネルギーの利用、および設備の適正運転などにより省エネルギーをはかる、出熱減対策がある。

3.4.1 粉コークスの焼結性改善による原単位低下

(1) 粉コークスの粒度改善

粉コークスの粒度分布が粉コークス原単位の低下要因であることは一般的である。これはコークスが粒径ごとに燃焼速度が異なるため、粒度分布の巾を狭めればより均一なる燃焼速度・燃焼熱量が得られ、焼結ベッド内の反応が均一化するためである。すなわち、微粒部分は反応性が高く燃焼速度が速すぎることで、また粗粒コークスのみの配合ではベッド内のコークス分布が粗になり効率が低下することおよびプレートバーへの焼結鉍溶着の原因となるために、微・粗粒部の削減が必要なわけである。粉コークスの粒度改善の効果例を図 28²⁸⁾ に示す。

(2) 焼結原料の事前処理

焼結ベッド内のコークスの燃焼性改善、ひいては円滑

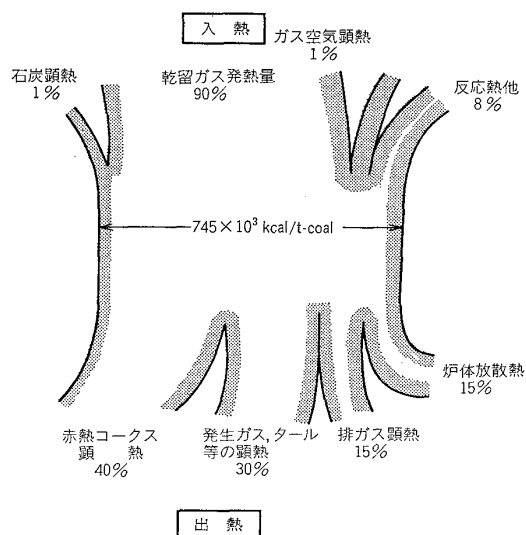


図 26 コークス炉熱収支例

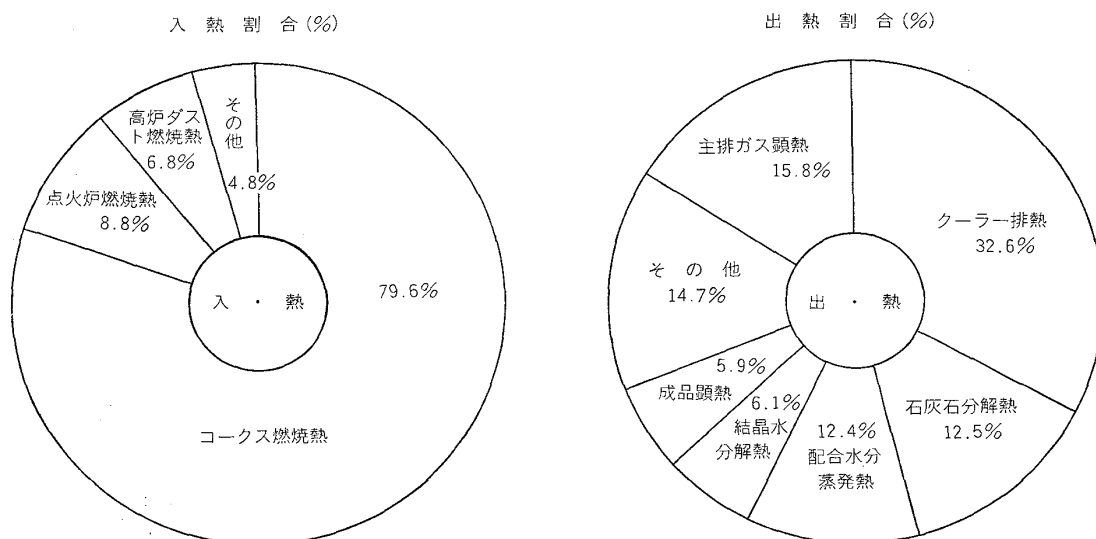


図 27 焼結機入・出熱バランス

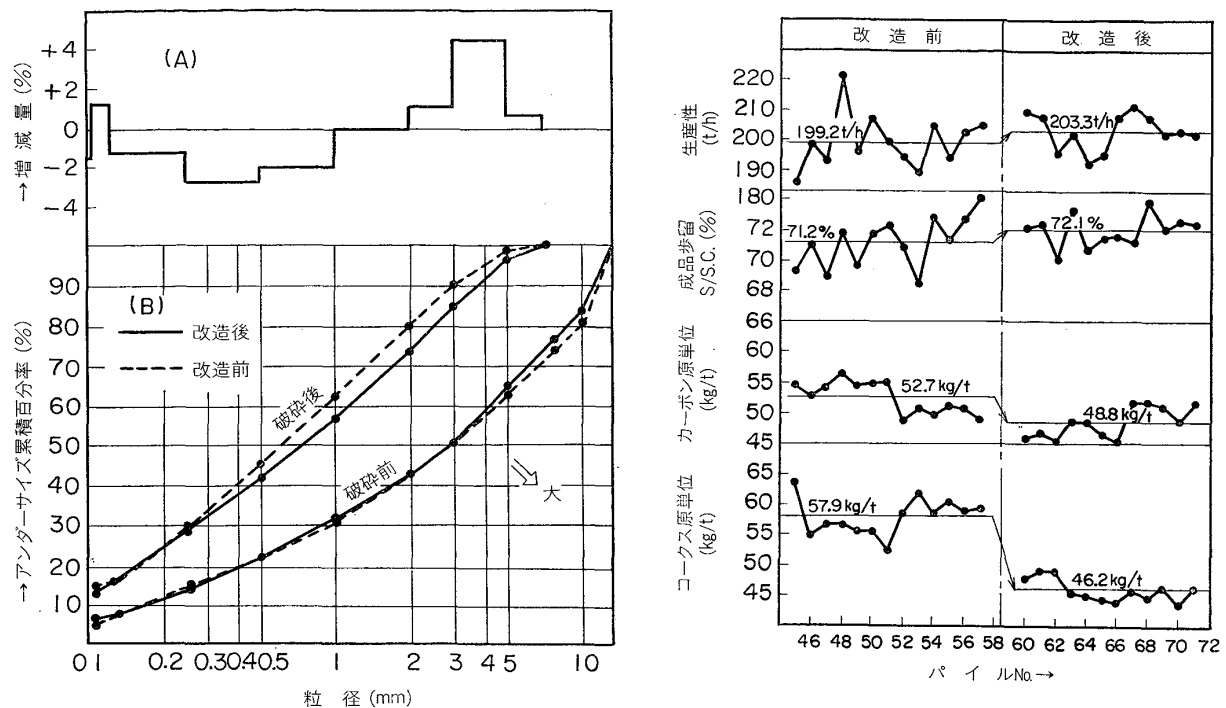


図 28 粉コークス粒度の焼結性への影響

なる焼結反応を進行させるためには、コークスが燃焼しやすい状態を保持しておかねばならない。すなわち、ベッド内でコークスが空気と接触しやすくし、さらに燃焼熱が均一に伝達されるよう通気性の改善が必要となる。これらの対策として、次のような技術が実施され、約 4 kg/t の粉コークス節減が報告されている¹⁰⁾。

- (イ) ミキサーの増強・バインダー添加による粒化粒子の強度向上
- (ロ) 塊鉱石の破碎粉配合による配合原料の粗粒化
- (ハ) 粉コークスの分割添加

3.4.2 歩留向上による原単位低減

現状での下方吸引式焼結過程は上部のコークス燃焼熱が下部に蓄積されるため、一般に上層部は熱不足で下層部が熱過剰となつている。この対策として、上～下層部へ連続的にコークス配合量を変化せしめ得れば、過剰熱量の節減と過熱部での通気抵抗を軽減することが可能である。

この目的のために、焼結ベッドへの原料装入時、後方より空気流を吹き付け、粒径と比重差を利用して粉コークスを前方へ飛ばし、上層部のコークス濃度を高くする方法が行なわれており、点火燃料約 10% の削減が行なわれている²⁹⁾。

また、上・下層装入用に別々の原料供給装置を有し、粉コークス配合率の異なる原料を装入して、過剰熱の削減を計る二段装入技術も、約 4 kg/t の粉コークス節減

を目標として、昭和 53 年夏には新日鉄八幡で実施される予定である。

3.4.3 設備の適正運転による電力節減

焼結機主排気系における漏風率は 10～50% にも及ぶ。また、冷却設備・集塵設備の漏風率もかなり高く、これらの漏風率低下は処理風量を低減し、電力節減をもたらすことは言うまでもない。

このほか焼結工場には多くのブロワーがあり、電力消費量に占めるウェイトは高い。電力節減のために、これらブロワーの空運転時間減少、および処理風量と設備仕様の差が大きい場合は最高効率運転点への改造など、きめ細かい対策が大きな節約を生む部門である。

3.4.4 未回収熱源の回収

製鉄所発生スケール、スラッジ類およびダスト類は種々の方法で回収が計られているが、未だ未利用熱源は多い。

(1) 高炉二次灰の利用

高炉二次灰は約 40% の C を含む有効資源であるが Zn を含むために焼結工場での直接利用に制限があり、回収の対象は脱 Zn 用の還元プロセス内装還元剤としての利用が主たるものであつた。この高炉二次灰中の Zn 分布が微細域にあることに着目して、最近湿式分級による 80% の脱 Zn 技術が開発され、液体サイクロンを使用して二次灰の 70～80% を回収し、資源の有効活用と焼結用粉コークスの節減技術が実施されつつある³⁰⁾³¹⁾。

(2) 冷却器排熱回収

焼成された焼結鉱はいつたん冷却されて高炉へ装入されるが、約 15 万 kcal/sinter-t に及ぶ冷却熱はすべて冷却排風として大気放散されている。この冷却排風を点火炉の COG 燃焼用予熱空気として利用し、排風顕熱に相当する COG を節減する技術が実施されている。現状での実機効果は、回収熱量として COG 2~2.5Nm³/t 相当で、冷却排風熱量の約 7% である。

また、同じく冷却排風から、排熱を高圧熱水として回収し、発電する技術の開発が進められており、詳細は別報³²⁾で述べられている。

3.4.5 今後の方向

焼結工場における所要熱の約 80% は粉コークスが占めている。この粉コークス消費量は、種々の操業技術改善により、S 51 年には全国平均で 51 kg/t まで低下しており (図 29)、今後 1~2 年のうちには 50 kg/t 以下を達成できると予想される。

一方、高炉でのめざましいコークス比低減技術の進歩から、製鉄所におけるコークス粉塊バランスを考慮しても焼結工場サイドでの粉コークス低減技術の発展が必要である。

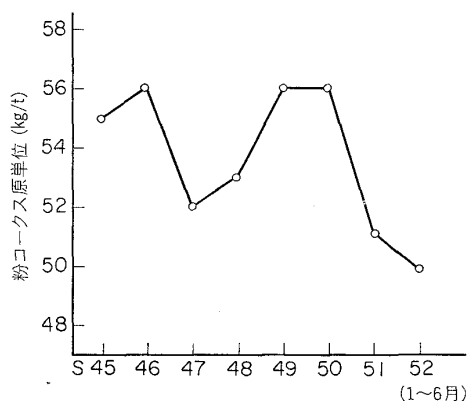


図 29 焼結用コークス原単位の推移 (全国平均)

すでに、雑炭素源の大巾活用により粉コークス消費量約 20 kg/t で操業中の焼結工場もあるが³³⁾、高炉ダスト・スラッジ類などの熱源の回収および無煙炭利用など未利用資源の活用技術、および焼結メカニズム研究による理論的所要熱の減少技術の開発など、一層の省エネルギー技術の実用化が期待される。

また、工場排熱についても、上述のごとく一部排熱回収の動向が表われているが、さらに低温排熱回収技術の積極的適用が望まれる。

3.5 ペレット部門における省エネルギー

S 51 年 3 月および 5 月、グレートキルン式ペレット工場を有する新日鉄広畑および神戸製鋼加古川両製鉄所では、従来大気放散されていた焼成ペレット冷却設備低温冷却排風を、原料の乾燥・粉碎およびグレート上での生ペレットの乾燥熱源とする回収技術を実用化した³⁴⁾³⁵⁾。この技術の省エネルギー効果は、250 万 t/Y プラントで重油換算約 2 万 kl/Y (約 20%) の節減をもたらすものである³⁶⁾。

4. フェロアロイ工業の省エネルギー

4.1 エネルギー消費の実状とその特徴

わが国のフェロアロイの生産高は、鉄鋼の生産高に比例して増加し、昭和 51 年度粗鋼生産 108 300 千 t では約 2 374 千 t を示している。

生産³⁷⁾およびエネルギーの使用実績³⁸⁾は表 7 に示すように、アロイ全品種をプールして t 当りでみると、コークス・石炭類 470 kg、石油類 111 l、電力 4 600 kWh で熱量換算したエネルギー消費は約 1 570 万 kcal となっている。ここで副生ガスなどの使用があるので (約 5% と推定)、これを修正しても実使用エネルギー原単位は、1 490 万 kcal となる。

購入一次エネルギー種別ごとの消費比率をみると、コークス・石炭類 21%、石油類 7%、電力 72% となり、

表 7 フェロアロイの生産エネルギー使用状況 (S. 51 年度分)

品 種	生産量* (×10 ³ t)	エ ネ ル ギ ー 使 用 状 況**					
		銘 柄	年間使用量	フェロアロイ (t 当り)	熱量換算*** (×10 ¹² kcal)	エネルギー別 比率 (%)	鉄鋼業の例 (%)
FMn 系	701	コークス類 石炭類 石油類 電力	935 千 t	394 kg	6 358	21	73
SiMn 系	523		180 千 t	76 kg	1 386		
FSi 系	332		262 860 kl	111 l	2 602		
FCr 系	521		10 956 807 kWh	4 600 kWh	26 845		
その他	297					72	15
計	2 374	計			37 191		
		フェロアロイ t 当り			15.7×10 ⁶ kcal		

* 日本フェロアロイ協会資料、** 鉄鋼統計月報

*** エネルギーの熱量換算値は総合エネルギー統計：資源エネルギー庁編 S. 50 年度版による。

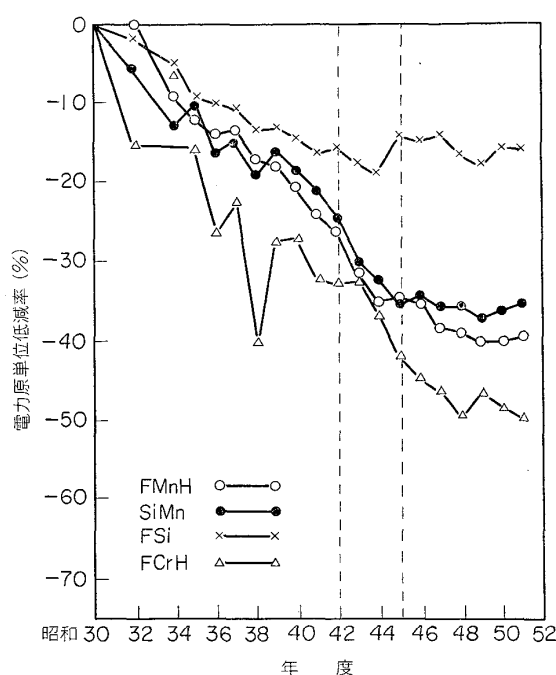


図 30 主要フェロアロイ電力原単位推移(S. 30 年ベース) (日本フェロアロイ協会総会資料)

一貫製鉄所などの例にみられる比率に対し電力への依存度が極めて高く、これがアロイ工業におけるエネルギー消費の特徴であつて、電力原単位の低減が省エネルギー対策の第一目標となつているわけである。

4.2 フェロアロイ製造における電力原単位の推移と主要技術の開発概要

図 30 に昭和 30 年度をベースとした主要フェロアロイ (FMnH, Si-Mn, FSi, FCrH) について、電力原単位の低減比率の推移を示した。

これより低減率の最も大きいのは FCrH 系で約 50% FMnH 系および Si-Mn 系で 35-40% の減少を示しているが、t 当り消費電力の高い FSi 系では約 15% の減少に止まつていることがわかる。

電力原単位の減少の大きい品種は原料の事前処理工程技術の導入によつて達成されている面が多いので、事前処理によつて使用されるエネルギーを含めたトータルエネルギーの推移をみるため、昭和 42 年度、昭和 45 年度および最近 4 ケ年の消費トータルエネルギーの比較をしたのが表 8 である。

ここで昭和 42 年度はフェロアロイの生産量が、年間 1 000 千 t を超えた年であり、従来の小型炉主体の生産による能力限度に近い数値で、この頃よりアロイ製造用電気炉は大型化への移行を開始している。昭和 45 年度は電気炉の大型化並びに各種新技術の導入が行われ、略現行生産体系を整えた年と考え比較データに採用した。

表 8 フェロアロイ工業におけるトータル・エネルギーとエネルギー原単位の推移

年 度	フェロアロイ生産量* ($\times 10^3$ t)	使用トータルエネルギー** ($\times 10^{12}$ kcal)	アロイ t 当り使用量 ($\times 10^6$ kcal)	S. 52 年度をベースとした低減率 (%)
S. 42	1 086	20.0	18.4	—
S. 45	1 969	37.1	18.9	+ 2.7
S. 48	2 321	37.4	16.1	-12.5
S. 49	2 602	41.0	15.7	-14.7
S. 50	2 324	36.2	15.6	-15.2
S. 51	2 374	37.2	15.7	-14.7

* 日本フェロアロイ協会資料, ** 鉄鋼統計月報より算出

昭和 45 年度は、生産炉の大型化への移行や、生産工程の変更などの過程で立上りの不調があつたこと、および公害関係防止設備の稼働開始もあり、エネルギー原単位は増加している。

昭和 46 年度以降は逐次安定化し約 15% の減少をしているが、昭和 48 年度以降は略横ばいとなつている。

この間の省エネルギーに関連する主要技術としては、

- (1) 電気炉の大型密閉化と、ガス回収技術の確立
- (2) 原料前処理技術の採用 (焼結, ブリケット化, 還元ペレット法など)
- (3) 溶湯処理技術の導入 (ペラン法, 溶湯ガス攪拌その他)
- (4) 製品歩留り向上など (鑄造機採用破碎設備など)
- (5) 排熱回収技術の研究

などが挙げられる。

5. 省エネルギーの問題点と今後の課題

フェロアロイ工業の動向は、鉄鋼業界の動向と表裏一体をなすものであり、特に景気の動向による生産負荷変動、並びに生産品種の変更によりエネルギー消費原単位は大きく左右されるものである。前述したアロイ t 当りエネルギー原単位では、昭和 48 年度以降低減がみられていないのは、マクロ的指標として表わしているためこれらの背景がかくされている点に留意する必要がある。

しかし現在わが国のアロイ工業のおかれていた立場より、省エネルギー対策は極めて重要かつ緊急を要する問題で、このため製造工程の抜本的見直しによる工程省略を含む技術の開発、負荷変動や電気炉の停止送電時のエネルギー損失を減少する技術の開発など、今後手がけなければならない問題点が多い。

また品種によつては製錬工程でのエネルギー消費量の大巾な低下の望めないものもあるので、発生した熱の回収技術を開発していくなど、総合的システムによる、トータルエネルギー効率の向上をめざす必要に迫られている。

収入	電 力 (72%)			コークス 石 炭 類 (21%)	石油類 (7%)
支出	反 応 熱 (28%)	メタル スラッグ 顕熱 (11%)	排ガス潜顕熱 (26%)	損 失 熱 (28%)	公害防止 動力等 (7%)

図 31 フェロアロイ製造におけるエネルギーバランス (例) (FMnH, SiMn, FSi, FCrH など主要製品の平均値)

図 31 にフェロアロイ製造におけるエネルギーバランスの例を示したが、今後の省エネルギー対策の重点課題としては、

- (1) 大型炉の生産負荷変動に対する技術の確立と、回収ガスの利用率向上
 - (2) 原料事前処理工程より製品処理工程に至るまでの一貫工程の見直しによる新プロセスの開発
 - (3) 溶湯、スラグ顕熱の利用と、排ガス顕熱の回収技術の確立 (排熱ボイラなど)
 - (4) 製品規格、特にサイズ成品成分の見直しによるエネルギーコストミニマム製品の検討 (なるべくリターンの発生しないサイズと歩留りの良い品位規格の追及)
 - (5) 溶湯製品供給による需要先製鉄所を含めた省エネルギー工程への移行
- などが挙げられる。

5. 結 言

製鉄工程に出入するエネルギーは、日本の全使用エネルギーの約 13% に相当し、製鉄部門の省エネルギー対策の成否が国のバランスに与える影響は非常に大きい。一方、そのエネルギーは、鉄鉱石還元という冶金反応の原料でありその削減は単なる熱技術、エネルギー技術では、大きな成果は期待できず、高炉炉内反応に対する専門知識を伸ばすことによつてはじめて可能になる。幸い、この方面の最近の技術的進歩はめざましいものがあり、従来ブラックボックスといわれた高炉の内部も、かなり判るようになって来たので、理詰め技術改善が行なわれて行くであろう。

しかしながら、製鉄のエネルギー問題は、単に自部門だけの都合で解決する訳にはいかず、製鉄所全体のエネルギーバランス、各種エネルギー源の価格動向、需要動向を充分に見極めて、適切な対策をとつていく必要があり、製鉄を中心とした総合的なエネルギー管理システムの充実も重要な課題であろう。

本解説ではフェロアロイ工業における省エネルギーに

ついても言及したが、専門的に多大の御協力をいただいた日本重化学工業(株)上坂健一氏、福津勉氏に誌上を借りて、厚く御礼申し上げる次第である。

文 献

- 1) 資源エネルギー庁編：総合エネルギー統計 (昭和 52 年版)
- 2) 椿 孟：第 29 回西山記念講座「製鉄所における省エネルギー」p. 87
- 3) 片田 中：鉄と鋼，64 (1978)，p. 1827
- 4) 新日鉄資料：
- 5) IISI Committee On Technology: A Technological Study on Energy in the Steel Industry (1976)
- 6) 新日鉄名古屋製鉄所：日本鉄鋼協会共同研究会第 50 回製鉄部会資料
- 7) Y. ISHIKAWA: IISI (1975) Some considerations on the operation of large Blast Furnace
- 8) 中村直人：第 14 回コークス部会特別講演
- 9) 日本鉄鋼協会製鉄部会，コークス部会編：わが国における製鉄技術の進歩 (日本鉄鋼協会) p. 41
- 10) Y. ISHIKAWA, K. SUGAWARA, and Y. UMEZU: AIME Agglomeration 77, 2, p. 503
- 11) 日本鋼管京浜製鉄所：第 39 回製鉄部会資料
- 12) 面田和利：鉄と鋼，64 (1978) p. 1926
- 13) S. TOYODA: IISI Panel Discussion (1974) Current energy outlook and steel operation (IISI/807/Annex 1)
- 14) 新日鉄八幡製鉄所：第 38 回製鉄部会資料
- 15) 樋口正昭，飯塚元彦，黒田浩一，炭竈隆志：鉄と鋼，60 (1974)，p. 1082
- 16) 若林敬一，藤浦正己，森 孝，井上展夫：鉄と鋼，55 (1969)，p. 872
- 17) S. HASHIMOTO, A. SUZUKI, H. YOSHIMOTO: AIME, (1977), Burden and Gas Distribution in the Blast Furnace
- 18) 新日鉄君津製鉄所：第 43 回製鉄部会資料
- 19) 楯岡正毅，守 圭介，久米正一，天野 繁：鉄と鋼，59 (1973)，11, S 279
- 20) 新日鉄室蘭製鉄所：第 42 回製鉄部会資料
- 21) 新日鉄君津製鉄所：第 51 回製鉄部会資料
- 22) 日本鋼管福山製鉄所：第 50 回製鉄部会資料
- 23) 佐々木洋三：鉄と鋼，64 (1978)，p. 1906
- 24) 通産省工業技術院：廃熱利用技術システム研究開発成果報告書
- 25) 池島俊雄：鉄と鋼，63 (1977)，p. 1897
- 26) 樋口正昭，小泉哲人，長谷部新次，松村勝巳，稲葉 護：日本鋼管技報，No. 72 (1976)，p. 337
- 27) 森高，藤村武生，佐藤誠一郎：鉄と鋼，64 (1978)，p. 1914
- 28) 重見彰利，小林 晃，池田恒男：製鉄研究，1968 年，No. 264 号，p. 8377
- 29) 私信
- 30) 大阪製鋼：第 49 回製鉄部会資料
- 31) 新日鉄釜石製鉄所：第 51 回製鉄部会資料
- 32) 田中紀之：鉄と鋼，64 (1978)，p. 1922
- 33) 日本鉄鋼連盟資料
- 34) 日刊重工業新聞：S50. 7. 31
- 35) 日経産業新聞：S51. 4. 28
- 36) 日本フェロアロイ協会資料
- 37) 鉄鋼統計月報