

解 説

UDC 669.1.012.3

鉄 鋼 業 の 省 エ ネ ル ギ ー *

池 田 忠 治 **

Energy Saving in Japanese Steel Industry

Tadaharu IKEDA

1. 結 言

1960年代の世界経済は、全体として5%台の実質成長率を維持し、とりわけ日本はその2倍を越える高成長をとげた。これを可能にしたのは非資源国ながら日本が、豊富かつ安価な資源とエネルギーを入手できたからであつたがS.48年末のいわゆる石油危機を契機にして事態は一変した。すなわち原油価格は一挙に4倍にはね上るとともに、その後、他の一次産品も相ついで価格の上昇をきたした。

これを契機として資源、エネルギーのほとんどを海外に依存する日本の、その中でもエネルギーを多消費する産業では将来の存在にもかかわる問題として資源、エネルギーの供給制約、高価格事態をうけとめ対策に動き出した。

鉄鋼業の場合、使用するエネルギーの大部分は石炭であるが原料炭としての特性からくる対象石炭が限られること、又鉱山開発には多大の費用と時間を要することからくる問題は以前から存在しており従来から諸対策を講じてきた。しかし石油危機は単に石油のみならず、原料炭にも影響を及ぼした結果、現在では鉄鋼業が使用するエネルギー全体としての価格は、以前の3倍にも達し、又石油危機は世界経済の不況とインフレをひきおこして諸産業活動を停滞させており、鉄鋼業は生産低下とエネルギーコスト上昇の二面から新たに対策をせまられてきている。

資源、エネルギーに関する諸問題は非常に広範囲、多面的でかつ奥の深いものであり単純なとり上げ方はできないが現在鉄鋼業のおかれている立場からみればその対策は長期的にはエネルギー供給制約を緩和する資源対策であり、中短期的にはエネルギーコスト上昇対策と考えられる。

長期的な資源対策としては、原料炭として劣質炭の使用比率を高め資源の幅を拡大する研究、開発を従来より進めてきたものであり、エネルギーコスト対策はエネル

ギー使用効率の向上をはかりより少ないエネルギーで生産を達成することであり、後者の方が当面の急務となる。

このような視点から鉄鋼業はS.49年よりエネルギー使用効率向上、つまり“省エネルギー”、10%を目標として、諸活動を開始し、新日本製鉄(株)ではS.51年上期までに6.5%を達成した。省エネルギー10%が全鉄鋼業で達成されたとすると年間粗鋼1.3億t生産時で節減エネルギーは重油換算800万klに相当する莫大な効果となるものである。

以下鉄鋼業における現状省エネルギーについて、新日本製鉄(株)の例をあげて解説し今後の方向についても考察を加える。なお省エネルギーに関する技術的内容などについては、それぞれの専門分野の文献などにゆだねるとして本文では製鉄所全体のエネルギー使用状況-粗鋼t当りエネルギー原単位、省エネルギーに中心をおいた。

2. エネルギー使用状況とその変化

2.1 エネルギー使用状況

S.51年度上期の生産及びエネルギー使用実績(表1)からみて粗鋼(t)当りの購入一次エネルギーは原料炭類682kg、石油類94l、電力424kWhで熱量換算したエネルギー原単位は679万kcalとなつている。しかしタール、軽油、副生ガスなどの外販エネルギーが87万kcalあり実使用エネルギー原単位は592万kcalである。

購入一次エネルギー種別ごとの消費比率は石炭類、石油類、電力はそれぞれ約73, 12, 15%であり石炭依存度が高い。又製鉄工程ごとにみるとその比率は製鉄、製鋼、圧延、他に区分してそれぞれ約72, 5, 15, 8%とコークスを使用している製鉄工程の比率が高い。

過去3年間のエネルギー使用状況変化では生産品種構成の変化(銑鋼比、冷延比の上昇)、減産とそれに伴う操業条件変化(高炉重油吹込み減)、環境対策の実施な

* 昭和52年6月7日受付(Received June 7, 1977)(依頼解説)

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

表1 鉄鋼業の生産，エネルギー使用状況（例）
（新日本製鉄（株）S.51年度上期平均）

生産状況	工場	対称生産	生産量 ×10 ³ t/月	備考		
	コークス 焼結 高炉 製鋼 熱間圧延	装入 焼結 鉄粗 処理	炭 鉄 鉄 材	1 620 3 780 2 750 2 890 2 530	購入コークス比 0.17 鉄鋼比 0.954 連铸比 0.28	
エネルギー使用状況 （対粗鋼）	購入一次 エネルギー	×10 ³ kcal/t		石炭，コークス類	石油類	電力
		6 790		682 kg	94l	424kWh
	外販エネルギー	870		副生ガス，タール軽油など		
	使用エネルギー	5 920				

どから，粗鋼 t 当り，石炭類が約 20 kg の増，石油類が約 30 l の減，電力が約 80 kWh の増となっており，又エネルギー原単位は省エネルギー努力にもかかわらず約 20 万 kcal 上昇している。

上記の事は鉄鋼業のエネルギー使用状況がエネルギー使用工場の使用効率以外の要因の影響を受けて大きく変化することを示している。

2.2 粗鋼（t）当りエネルギー原単位と変動諸要因

粗鋼エネルギー原単位は鉄鋼業又は製鉄所のエネルギー使用状況を判断するマクロ指標としてよく用いられるが時系列変化，又は異なる製鉄所の変化を問題にする場合はエネルギー原単位が算出された背景を十分に理解する必要がある。つまり製鉄所全体としてのエネルギー原単位の数値そのものは購入一次エネルギーと外販エネルギーの差を粗鋼生産量で割って求められるごく単純な数値であるが，その構成は製鉄所内の各工場の生産，設備，操業によって決まる各工場のエネルギー原単位の組合せで成立しているためである。

製鉄所におけるエネルギーの形態を画くと図1のごとく，外部から購入する1次エネルギーと鉄鋼製造を中心

とする生産工程，工場の機能をささえる二次エネルギー，さらにこの間におけるエネルギーの質的転換，二次エネルギーとして使用されやすい形態への変化，各工場への供給などの機能をはたすエネルギー転換工程が存在することになる。この形態を前提として粗鋼エネルギー原単位を簡単に表現すると下式のごとくその変動要因として，(1)各工場エネルギー原単位，(2)生産構造，(3)エネルギー転換工程，などがあげられる。

$$ENE_s = \sum_i (M_i/M_s) * ENE_i + ENE'_s$$

$$ENE_i = \sum_j (M_j/M_i) * ENE_j$$

$$ENE_j = \sum_k ENE_{jk} - ENE_{jk}'$$

M : 生産量又処理量

ENE : エネルギー原単位

ENE's : エネルギー転換工程所要エネルギー原単位

s : 粗鋼

i : 工程（製鉄製鋼圧延他）

j : 工場（製鉄-焼結，高炉
製鋼-転炉，連铸分塊
圧延-各熱間圧延ミル
-各冷間圧延ミル
他 - 所内共通

k : 2次エネルギー（コークス，重油，ガス，電力，酸素，水，蒸気）

k' : 副生エネルギー

(1) 各工場エネルギー原単位

粗鋼エネルギー原単位の基本になるもので主要なものとしては焼結工場粉コークス原単位，高炉工場燃料比，コークス炉，分塊又は熱間圧延工場の各種加熱炉燃料原単位と各工場共通な電力原単位などである。これらに及ぼす要因としては，①原料事情，②生産品種，③設備仕様，④稼働率，と操業条件等が上げられる。

①原料事情は特にコークスの灰分で1%上昇により高炉燃料比10kg増加となり影響が大きい。②生産品

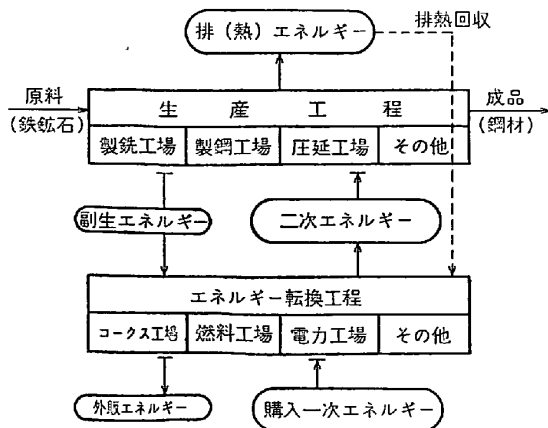


図1 製鉄所のエネルギー流れ概念

種の主なものとしては高炉の鋳物銑比率の上昇による、燃料比増、又分塊工場のキルド鋼比率上昇、トラックタイムの延長による均熱炉燃料原単位の増加、又厚板工場や冷延工場での熱処理鋼比率の上昇による燃料原単位の増加、といったものがある。③設備仕様に関しては、従来の設備計画では高生産性、低設備投資に重点がおかれており、エネルギー原単位は設計時のエネルギー効率のとり方で変ってくる。高炉の燃料比は従来から進められてきている高圧装置、高温送風装置、炉頂装入装置、炉況診断装置(ボンデ)、などの設置状況により変化する。又加熱炉の燃料原単位も炉床負荷率、炉体構造(炉型式、加熱装置)などにより変化する。又省エネルギー効果が大きく最近実施されている直接圧延やホットチャージは品質、工程上の制約もあるが特に工場レイアウトが適している事が第一条件である。④稼働率と操業条件に関しては、最近の低生産状況下にあつて設備の稼働率は低下せざるを得なくなつてきているがこのためエネルギー固定負荷分比率が増加する傾向にあり特に電力原単位に顕著である。又、高炉の低出銑比は重油吹込み量の低下、炉頂圧の低下をきたして燃料比にも影響を与えつつある。加熱炉では稼働率の低下はある範囲までは炉床負荷率を下げることに燃料原単位はむしろ低減の方向にあるが炉稼働方法により低減の程度は異なる。

以上の要因の他に環境対策上の工場燃料、電力使用増や季節的な蒸気使用増などもある。

(2) 生産構造

エネルギー原単位に影響する生産構造は粗鋼生産に対する各工場、工程生産比であり大きなものとして、①銑鋼比、②焼結比、③連鑄比、④冷間圧延比などがある。

①銑鋼比の影響は特に大きく最近の減産下ではどうしても上昇気味となり溶銑t当りのエネルギー原単位を450万kcal程度とするとその比1%上昇は粗鋼エネルギー原単位の4.5万kcal増加となる。②焼結比は焼結銹のエネルギー原単位が約50万kcalであるので輸入ペレット又は塊銹と置換する場合高炉燃料比に影響ない範囲で1%の降下は溶銑エネルギー原単位の8万kcal減少となる。③連鑄比率については品種、歩留り関連を除いて単純には分塊工場の燃料原単位が省略されるので、10%上昇で約1.5万kcalの粗鋼エネルギー原単位の低減となる。④冷間圧延比上昇は品種などにより異なるがマクロ的に冷延材が熱延材より100万kcal程度多く要するとみられるので粗鋼エネルギー原単位の増加となる。

(3) エネルギー転換工程

エネルギー転換工程は購入一次エネルギーを生産工場で使用する二次エネルギーに転換し供給しているがこの工程内では石炭の乾留熱や各種二次エネルギーの発生(基準発熱量と実際必要熱量の差、転換効率差)及び供給、又は放散ロスなどが計上される。

例として代表製鉄所の転換工程状況を図2に示すがこの場合では転換工程において粗鋼t当り67万kcalを消費している。特に大きな影響を及ぼすものとして購入コークス比率、自家発電比率があり前者はコークス製造エネルギーをt当り100万kcalとすると、10%の上昇は粗鋼エネルギー原単位の約4万kcal見掛上低減となる。後者については普通自家発電設備は副生ガスを燃料として使用するためそのガスカロリーが低いことおよび自家発電設備の容量が小さいことによる効率低下のため

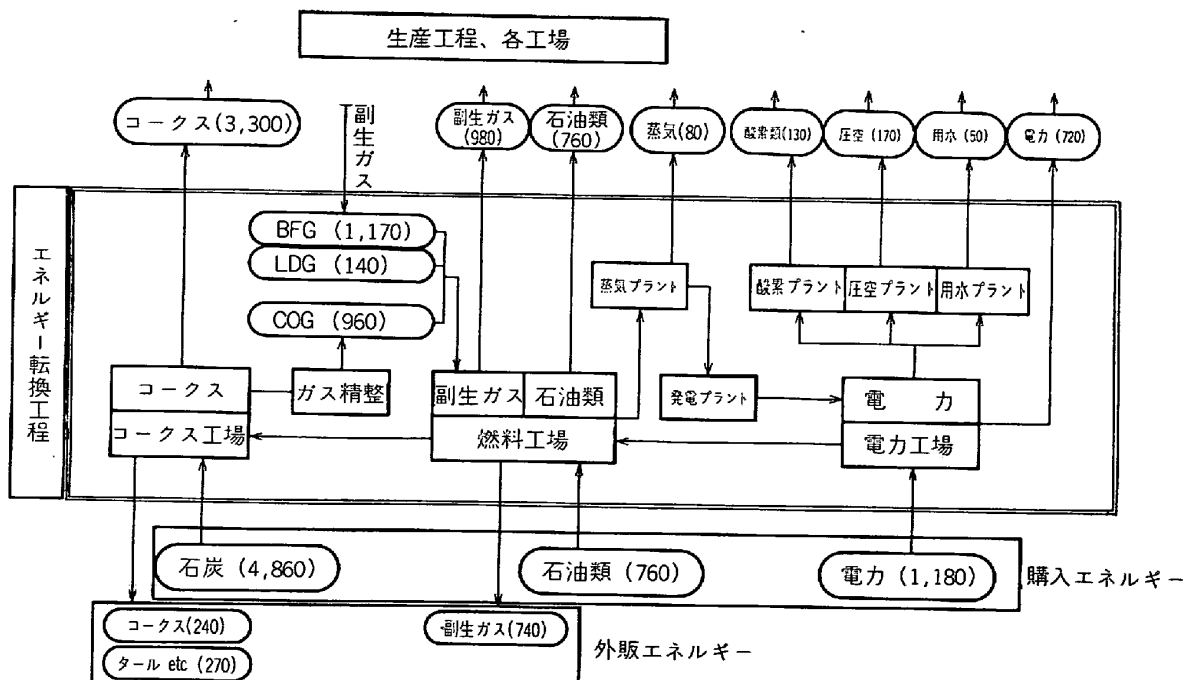


図2 エネルギー転換工程状況(代表製鉄所例) 数値は×10⁶kcal/T-Sを示す。

に自家発電比率が高い場合粗鋼エネルギー原単位の増加になり例に示した製鉄所の場合外販副生ガスを自家発電すると約 10 万 kcal の増加となる。

転換工程におけるエネルギー使用はある製鉄所において購入一次又は次エネルギー形態に大きな変化がなければあまり問題にならないが異なる製鉄所間では注意する必要がある。

3. 省エネルギーの現状と今後の見通し

3.1 省エネルギー計画と実行

現在推進中の省エネルギーの基本計画の概要は下記のごときである。

- ・目標 省エネルギー 10%
基準時 S.48 年上期
- ・目標達成手段 操業努力 (=3.5%)
省エネルギー設備 (=4%)
生産設備の合理化 (=4%)
- ・省エネルギー量 = 各工場 各種エネルギー原単位*の低減 × 生産量の総和
- ・省エネルギー比 $\text{率} = \frac{\text{省エネルギー量}}{\text{省エネルギー量} + \text{実使用エネルギー}}$
- ・省エネルギー主要対策
高炉燃料比の低減, 転炉ガス回収
原単位向上, 連続鑄造比率拡大,
均, 加熱炉燃料原単位の低減, 排
エネルギー回収, 他

以上の基本的な計画をもとに, 全社の組織的活動を開

始した。先ず体制としては製鉄所を含めた全社の技術系幹部をメンバーとする省エネルギー対策会議を頂点に各製鉄所ごとに委員会を設け, 操業の改善や設備の改善項目の検討と推進をはかり, 目標の設定, 成果の報告を定期的に行ってきた。

なお, 具体的に実行又は検討されてきた対策例を表 2 に示す。

3.2 省エネルギー成果

この3年間に省エネルギー 6.5% を達成したがその推移を図 3 に, S.48 年上期と S.51 年上期の生産構造, 主要エネルギー原単位の変化を表 3 に又その中の代表例として各種熱間圧延工場加熱炉の燃料原単位の推移を図 4 に示す。

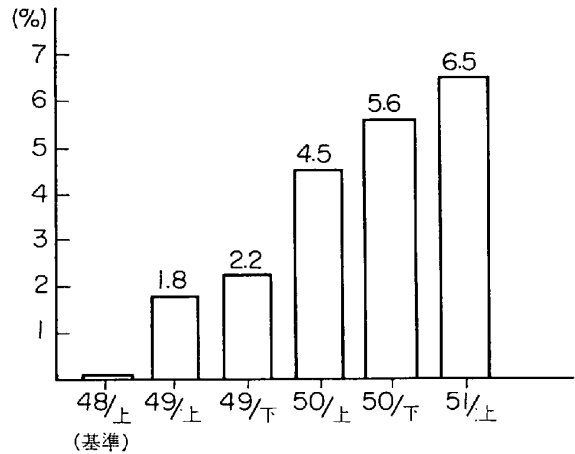


図3 省エネルギー実績推移

表2 主要省エネルギー対策 (例)

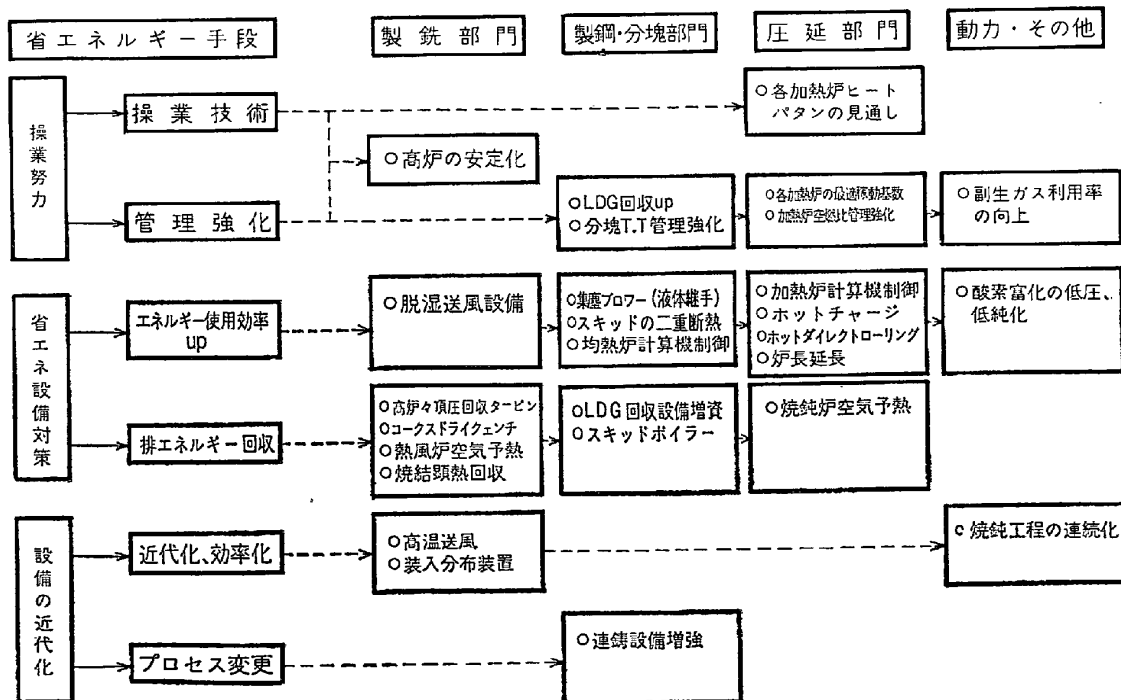


表 3 鉄鋼業の工場生産、工場エネルギー原単位の変化
(新日本製鉄(株))

工 程	工 場	対粗鋼生産比率		主 要 原 単 位 変 化			
		S.48/上	S.51/上	原 単 位	単 価	S.48/上	S.51/上
製 鉄	焼 結 コークス 高 炉	1.14	1.31	粉コークス原単位 燃料 燃料比	kg/t	57	55
		0.519	0.562		$\times 10^3$ kcal/t	652	641
		0.934	0.954		kg/t	487	478
製 鋼	転 炉 連 鑄 分 塊	1.00	1.00	LDG回収原単位 連鑄比率 燃料原単位	Nm ³ /t	40	68
		0.218	0.280		%	21	28
		0.782	0.720		$\times 10^3$ kcal/t	200	166
圧 延	線 材 厚 板 熱 延	0.07	0.07	燃料原単位 〃 〃 〃	$\times 10^3$ kcal/t	326	276
		0.13	0.10		〃	546	427
		0.149	0.134		〃	468	404
		0.494	0.561		〃	490	360
(冷 圧)	酸 洗			蒸気原単位	kg/t	68	40
他	動 力			副生ガス利用率	%	98.8	99.6

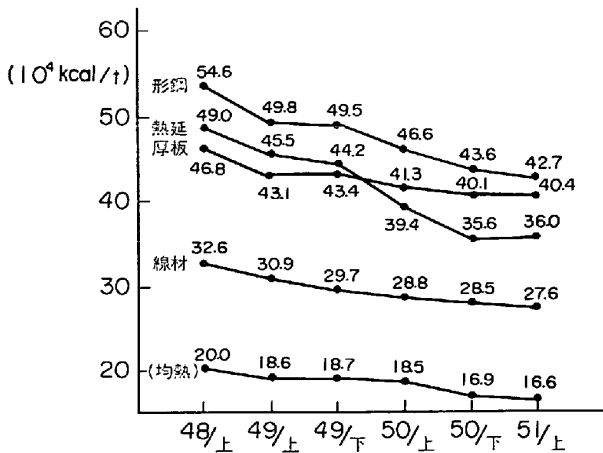


図 4 熱間圧延各工場燃料原単位の推移

(1) 省エネルギー比率 6.5% の内容

S.51 年上期までの 3 年間に 6.5% の省エネルギーを達成したがその達成を手段ごとにみると操業努力、省エネルギー設備の設置、生産設備の合理化によるものがそれぞれ 4.2, 1.1, 1.2% となっており操業努力の効果が大きい。

省エネルギー設備については、3 年間に 200 億を越える投資を行ってきたがいまだ稼働していないものがありその効果は今後発揮される。

又生産工程別にみると製鉄、製鋼、圧延、他工程においてそれぞれ 2.2, 1.1, 2.3, 0.9% となっており製鉄、圧延工程での効果が大きい。製鉄工程の省エネルギーは焼結工場の粉コークス原単位の低減、高炉工場の燃料比の低減であり特に高炉燃料比についていえば基準時よりコークス灰分の上昇、吹込み重油減、スラグ分増加などの悪化要因はありながら送風温度の上昇、送風湿分の低下、装入物分布制御、安定操業等の対策がある。製鋼工

程の省エネルギーは転炉工場の転炉ガスの回収増と均熱炉燃料原単位の低下であり転炉ガスの回収増には溶鉄比の上昇による発生増の潜在的な増加要因はあるものの吹錬タイミング調整、回収条件の見直し、回収後のガス利用拡大等の対策がある。圧延工程の省エネルギーは図 4 にみられるごとく各種熱間圧延工場の燃料原単位の低減によるもので燃焼管理強化、炉内温度分布見直し、圧延タイミング管理などによる対策と、直接圧延又はホットチャージのごとく工程省略による対策がある。

(2) 粗鋼エネルギー原単位

実績の粗鋼エネルギー原単位は省エネルギー努力にもかかわらず S.48 年上期の 572 万 kcal/t から約 20 万 kcal/t 増加し 592 万 kcal/t に上昇したが、これは先に触れた鉄鋼比、冷間圧延比、コークス灰分、環境対策用、電力などの上昇の影響が大であったことによる。この状況は図 5 に示されるごとく、基準時の各工場エネルギー原単位で S.51 年上期生産を行つたとすると諸要因のた

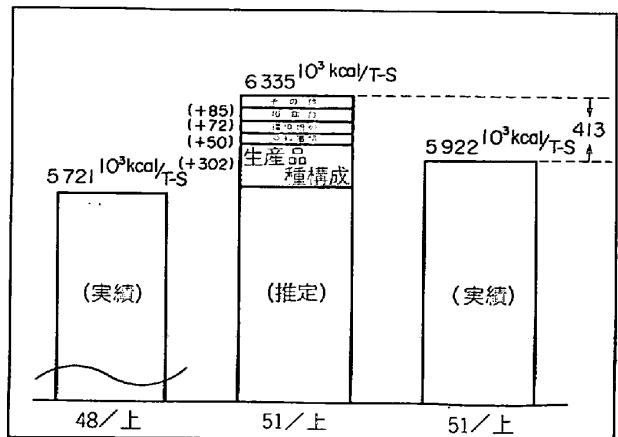


図 5 粗鋼 TON 当りエネルギー原単位の変化解析

めに粗鋼エネルギー原単位は 634 万 kcal/t になると推定されるが、省エネルギー対策実施により 41 万 kcal/t 低くおさまったものであると理解される。

3.3 今後の見通し

今後の省エネルギーについて、S. 55~56 年頃までにほぼ目標の 10% を達成する見通しをたてている。

その手段として、操業努力による効果はまだ改善の余地を多少残すものの現在でほぼ飽和しており、省エネルギー設備の設置や生産設備の合理化にウエイトを置かざるを得ず、省エネルギー設備投資もさらに 250 億が必要とされている。生産工程別にみると製鉄、製鋼、圧延においてそれぞれ約 3.5, 2.4, 2.7% 程度、1 次エネルギー種別でみると石炭類、石油類、電力がそれぞれ約 6.0, 3.6, 1.0 程度となつている。

これらの数値は製鉄所での工程別又は 1 次エネルギー種別のエネルギー使用実態と若干異なるが、製鉄工程で消費されるエネルギーの約 1/2 の 200 万 kcal は鉄鉱石の溶解、還元反応に絶対必要なものでありかつ鋼材内部に蓄積されること、又製鋼における転炉ガス回収は溶銑中の炭素にあることを考慮すると製鉄工程（溶銑）に関する省エネルギー比率が大きくなる。

4. 今後の省エネルギー推進上の課題

省エネルギー 10% の目標に対して達成の見通しは得ているが今後の鉄鋼業は安定成長を前提とした経営戦略にたたざるを得ず、その結果体質改善のための省エネルギーへの要請がますます強まりがその中で省エネルギー設備投資の効率向上、省エネルギー技術の開発、トータルエネルギー効率の向上などが課題となる。

(1) 設備投資効率の向上

現在の鉄鋼業は世界経済不況の中で非常にさびしい経済環境下であり、省エネルギー設備投資の要請を十分に認識しながらも実行面では投資効率に重点をおいて判断せざるを得ない。従つて投資効率を向上させるための最適設備設計、運転方法などの技術の追求が大切である。

(2) 省エネルギー技術開発

現状の製鉄設備を前提とする省エネルギー対策は限界があり将来にそなえるには製鉄プロセスの抜本的な見直し-工程省略、連続比、大幅改善-を志向すべきである。しかしこれらの生産設備に関する研究には長時間を要し又具体化には莫大な資金を要し、リスクも大きいので短兵急に進めるといふより鉄鋼業の技術開発の方向を省エネルギーにウエイトを置いて着実に進めることが肝要となる。

製鉄所での省エネルギーには、一つとして各工場の操業設備改善により直接的に 1 次又は 2 次エネルギーを減ずるものと、排エネルギーを再利用することによつて間接的に 1 次又は 2 次エネルギーを減ずる（排熱回収）二つの方法がある。従来推められているものは前者に属す

るものが多く又今後も、進められるであろうが大幅な進展は長時間を要すると考えられ、今後の省エネルギーについては後者に期待がかけられる。ただし現状の排熱回収の実施又は検討例からみると、投資効果が劣る点があり、排熱回収技術（熱回収、熱交換、熱輸送、熱貯蔵）の研究開発が現在緒についたばかりであることと合せて、今後の十分な検討が必要である。

(3) トータルエネルギー効率向上策

各工場の個々のエネルギー使用方法及び省エネルギー対策を有機的に統合して製鉄所全体の 1 次エネルギー節減につなげるトータルエネルギー効率向上策一つつまり、製鉄所生産状況、各工場稼働形態、操業条件と 1 次エネルギー使用状況を関係づけるトータルシステムをつくり、これによる生産計画、実行をはかりながらエネルギーの有効活用をはかる策が今後必要である。このシステムを発展させて、エネルギーに関する要因のみならず生産、工程、品質管理面の要因や原料購入、成品販売などの要因を包含させていくと、製鉄所の経営戦略システムにまで成長する重要なものである。現状では一度にこのレベルまで狙うのは無理な点が多くあるが将来はこの方向にむけて逐次進める基本として、トータルエネルギー効率向上策の検討を本格的に始められることが望まれる。

5. 排熱回収について

先にも触れた通り今後の省エネルギーとしては排熱回収に期待することが大きく又主体になると予測される。

5.1 排熱回収の可能性

鉄鋼業で使用されるエネルギーの約 1/3 は鋼材の生成熱となり蓄積されるが、他は何んらかの形態で図 6 の

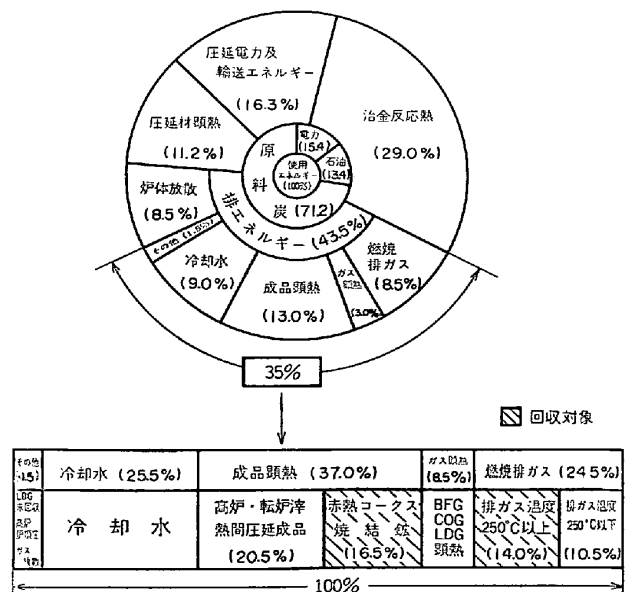


図 6 エネルギーの変換、排出現況例 (S/I/50上)

通り放散されている。この 2/3 の排熱回収を考えると、その 1/2 は電力の運動エネルギーへの変換と放散熱、圧延材の加熱炉から圧延機間での顕熱、炉体放散熱、少量冷却水等による排熱であり回収の対象にならない。残りの 1/2 の内、当面技術的、経済的にみて、問題がある高炉、転炉スラグ顕熱、最大でも 60°C 程度の冷却水、温度の低い燃焼排ガスを除くと、現状で回収対象となる排熱はコークス、焼結鉱顕熱、250°C 以上の燃焼排ガスに限られて、その量は全使用エネルギーの約 1/10、粗鋼 t 当り 60~70 万 kcal となる。

ただしこの排熱の利用をはかる場合は回収率、所内 2 次エネルギーの転換効率を考慮する必要があり、仮にそれぞれ 50, 50% とおくと、粗鋼 t 当り 15~18 万 kcal となり省エネルギー比率約 2.5~3% の可能性があることになる。

5.2 排熱回収を進める上の問題点

排熱回収して 2 次エネルギーに転換しやすい対象は一般工場用の蒸気であるが一貫製鉄所の場合高炉、コークス、転炉ガスを副生燃料として有効利用すべきであり、ガスバランス維持のためにボイラー設備を有しているために、蒸気回収には制約が生ずる。つまり、蒸気使用原単位は粗鋼 t 当り 250 kg/— 程度であるが 15~18 万 kcal の排熱回収を蒸気で行うと約 80% が排熱による発生となり副生ガス余剰が生じやすくなる。

電力で回収することは最近の電力需要が環境対策もあつて年々増加しており、好ましいが既存の要素技術では経済性が悪く実現し難い状況にある。

又排熱の発生が所内に分散しており、それぞれ生産工場の生産変動に応じてその量、温度も変動し、回収設備

の稼働率が低下するため投資の経済性を悪化している。

所内に散在する排熱を集約して、所内全体エネルギーバランスをみながら熱気又は電力に転換回収する技術が望まれるがそのためにはまず熱輸送、熱貯蔵、熱の動力への転換技術についての要素技術開発が先決である。

6. 結 言

以上鉄鋼業の省エネルギーについて、新日本製鉄(株)の例をあげて解説し今後の方向について考察を行った。

今後とも鉄鋼業は資源エネルギー問題から省エネルギーが要請されるであろうし、又その省エネルギー効果の大きさに日本鉄鋼業の今後の存立がかかっているともいえよう。しかし、現在の鉄鋼業における省エネルギー技術については、最近、かなりの進展はしているものの今後の省エネルギーの要請に答えるには必ずしも十分といえない面が多々ある。

省エネルギー技術とは個々の生産工場のエネルギーに関する設備、操業技術そのものであると同時にそれらを製鉄所全体として集約し効果的な実行をはかる技術である。従つて鉄鋼業にたずさわる全員が今一度、自分の回りの生産、設備、操業のあり方を見直し、周囲の関係者と協力体制をひいてこそ初めて省エネルギーの前進が生じてくるものである。

又今後の産業界の省エネルギーは当面コント対策として実行されていくであろうが、地球上の化石燃料の有限性を考えた場合、これを単に一時的な逃避に留めることなく人類の未来を保証するための不可欠な措置という認識にまで高めていく必要がある。