



製鉄所における省エネルギーとエネルギー構造の変化

山 本 哲 也*

Energy Saving and Change of Energy Structure at Steel Works

Tetsuya YAMAMOTO

1. 結 言

鉄鋼業の省エネルギーは、各製造部門における省エネルギー技術の普及により、昭和 48 年度より昭和 55 年度までの 7 年間に実質 12.0% の削減を達成し、低成長時代に移行した鉄鋼業の経営合理化の主要な柱として大きな成果を納めた。ところが省エネルギーの進展に伴って、製鉄所内のエネルギー消費構造は大きく変化してきたため、製鉄所におけるエネルギー問題は、新たな段階に入った。すなわち、省エネルギーの限界はどの程度か、その時のエネルギーバランスはどうなるのか、またそれに伴う課題は何かという製鉄所全体のエネルギーを見渡した検討が必要となつた。

そこで、当会共同研究会熱経済技術部会では、昭和 54 年 4 月に省エネルギー研究小委員会を発足させ、この課題の検討を行つた。その活動は、約 1 年半行い昭和 55 年 11 月に報告書¹⁾の形をとつたが、その期間中の昭和 54 年秋に第 2 次石油危機に見舞われ、石油は再び大幅な価格上昇をきたし、その結果石油対石炭の価格比率は大きく乖離し、そのため高炉でのオールコークス操業への移行が早まつた。製鉄所の脱石油（オイルレス）化は急激に進展すると共に、一層大きなエネルギー構造の変化をもたらしたのである。このようなエネルギー変化を反映して、小委員会の検討方針を

(1) 製造部門ごとの省エネルギーを論ずるのでなく、製鉄所全体のエネルギー構造を検討すること。

(2) オイルレス製鉄所の実現といった当面の省エネルギー目標と省エネルギー対策（項目・手段等）のあり方を検討すること。

(3) 省エネルギーの進展・脱石油化が製鉄所のエネルギーバランスにどのように影響するのか、またその全体的評価とそれに伴って生ずる課題について検討することとした。

調査研究の進め方は、まずモデル製鉄所を設定し、次に各製造部門でのエネルギー原単位と省エネルギー項目とを、相当進んだ形で織り込んだものを基準ベースとして設定し、更に現在の技術限界と考えられる項目を基準に上乘せして、それを限界ベースとした。以上をもとに、モデル製鉄所のエネルギーバランスと粗鋼 t 当たりのエネルギー基準および限界原単位を試算した。また、高炉のオールコークス操業、連铸（以下 CC）比率アップ等に見られる操業諸元のバリエーションを行い、エネルギーバランスの変化を検討した。その結果、製鉄所は省エネルギー限界において、余剰ガスが発生し、エネルギー外部供給能力を有することが明らかとなつた。と同時に新たに、①副生ガスの利用法、②エネルギーの需給調整、③動力設備と排エネルギー回収利用のあり方等の重要な課題が生ずることを指摘し、その具体的対応例を示した。

なお、今回の検討はモデル製鉄所における試算であるため、現有製鉄所は、その置かれた立地条件により個々にエネルギー構造の将来像を描いた上で、省エネルギーの目標の設定と省エネルギー対策の選定を行い、それに伴う課題を克服する必要がある。

なお、本稿は、製鉄所全体のエネルギーバランスからみたエネルギー問題を、包括的・体系的に検討を行つた小委員会の報告書¹⁾を要約したものである。

2. モデル製鉄所の設定

モデル製鉄所の規模は、粗鋼生産能力年間 800 万 t。その稼働率を最近の粗鋼生産状況を参考にして 80% とした。その他のエネルギー原単位に影響する各諸元を図 1 の基準マテリアルフローに示すが、溶銑比率を 92%、高炉燃料比のコークス比（以下 CR）を 415 kg/t-pig，オイル比（以下 OR）を 35 kg/t-pig，CC 比率を 70% とし、残り下工程は現有製鉄所に比べて簡潔なフローに

昭和 56 年 8 月 24 日受付 (Received Aug. 24, 1981)

* 本会共同研究会熱経済技術部会省エネルギー研究小委員会委員長
住友金属工業(株)大阪本社 (Head Office, Sumitomo Metal Industries, Ltd., 5-15 Kitahama Higashi-ku Osaka 541)

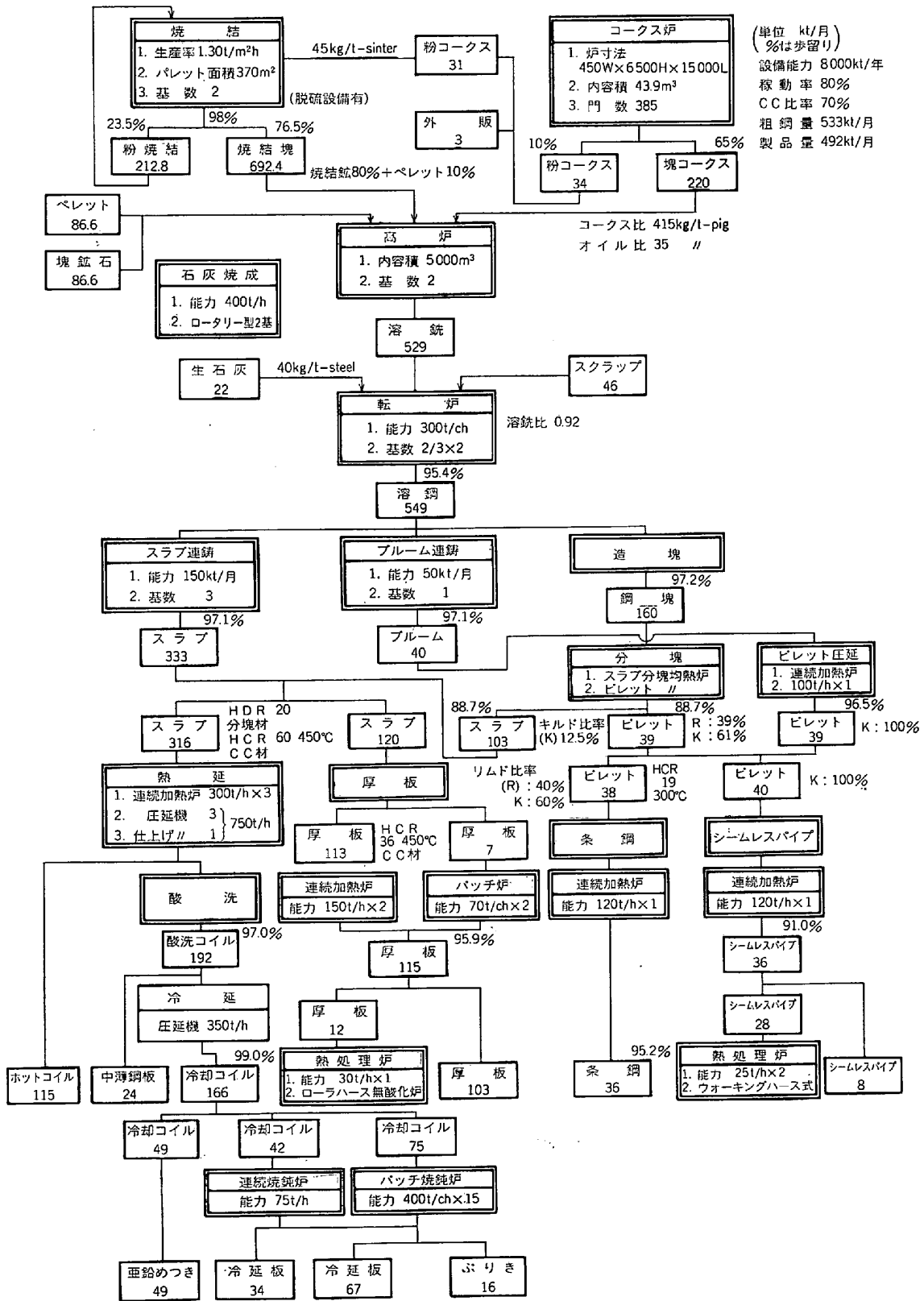


図 1 モデル製鉄所マテリアルフロー (基準)

した。また各部門での歩留りは、製鉄所の将来目標を勘案して、図1に示す値に設定した。なお粗鋼生産規模年間800万tの数値的背景については、IISI、1976年 Committee on Technology のレポート“A Technol-

ogical Study on Energy in the Steel Industry”および昭和54年3月、日本鉄鋼連盟作成のレポート“廃熱利用技術システムの研究開発委託成果報告(トータルシステムの研究開発)”を参考にした。

3. モデル製鉄所各製造部門における基準 および限界エネルギー原単位の設定

3.1 コークス部門

最近のコークス炉は、高炉の大型化に伴って量と質に関する技術開発が進められ、コークス炉の大型化・自動化・品質の改善がなされた。コークス炉は製鉄所の中では、高炉、自家発電所に次いで大量に燃料を消費する設備であり、燃料の削減対策も重要な課題である。このため積極的な省エネルギーが進められ、コークス乾式消火設備（以下 CDQ）や予熱炭装入等の大型省エネルギー技術が開発され、普及化が進められている。しかしコークス炉操業は、石炭の種類、水分などの被乾留物の性状、あるいは炉の構造、さらに加熱や燃焼の状態が複雑に絡みあつて、まだ理論的に解明することは、非常に難しい面がある。こうした背景のため今回の調査は、各社の現状操業データをベースに統計学的処理とスポットデータを基本にして検討を加えた。また、化成部門は個々の製鉄所ごとにプロセスが異なるため、代表プロセスを取り、その平均的データを取り入れることにした。

3.1.1 コークス炉調査結果

昭和 53・54 年度へ日本鉄鋼連盟に集計されている各社の実績データからコークス炉の操業に係る主なる回帰式を求めると表 1 のとおりである。石炭の歩留りは揮発分（以下 VM）に逆比例し、これに対してコークス

表 1 コークス炉の操業諸元と回帰式

項 目	回 帰 式	単 位
1 総歩留りと VM	$-0.85VM + 99.1$	%
2 塊歩留りと VM	$-0.8 VM + 86.5$	%
3 タール発生量と VM	$2.8 VM - 39.6$	kg/t-coal
4 COG発生量と VM	$5.5 VM + 159$	Nm ³ /t-coal

炉ガス（以下 COG）の発生量は、VM に比例して増加する。また昭和 53・54 年の 2 年間のコークス炉の燃料使用熱量原単位の平均値は、 656×10^3 kcal/t-coal である。このデータを当会共同研究会コークス分科会および熱経済技術部会の資料を参考にし、理想的なヒートバランスを作ると表 2 のようになる。このヒートバランスより明らかのように、出熱のほとんどは、コークスや COG 等の製品や副産物に占められるのが特徴である。なお、物質収支の取れない量については、修正項目を設定してバランスを取った。

3.1.2 コークス炉の基準・限界諸元の設定

調査結果、現状操業炉の平均 VM 値は 27%、平均稼働率は 120% である。基準および限界値設定にあつて、VM 値は現状値と同一の 27% として、稼働率を 100% にダウンさせ炉温の引き下げ、乾留時間の延長を行い、併せて燃焼管理強化による炉空気比調整、装入炭水分減少対策およびガス回収率アップ対策等を行うことで燃料原単位 576×10^3 kcal/t を設定値とした。表 3 に省エネルギー対策内容と各低減量を示す。限界時設定は

表 2 コークス炉の物質収支とヒートバランス

		(A) 物 質 収 支						(単位: kg)
		C	H	N	S	O	Ash	計
IN PUT	装 入 炭	803.0	47.0	15.0	6.0	48.0	81.0	1000.0
OUT PUT	コ ー ク ス	653.6	0.8	11.3	3.5		81.0	750.2
	C O G	80.4	35.3			23.8		139.5
	タ ー ル	34.7	2.2	0.3	0.2			37.4
	粗 軽 油	9.3	0.7					10.0
	ア ン モ ニ ア		0.3	1.4				1.7
	硫 化 水 素		0.1		1.5			1.6
	修 正 C O G	20.9	3.4			5.0		29.3
	修 正 水		4.2			19.2		23.4
	修 正 項	4.1		2.0	0.8			6.9
		(B) ヒートバランス (現状)						
入		熱		出		熱		
項 目	$\times 10^3$ kcal/t-coal	%	項 目	$\times 10^3$ kcal/t-coal	%			
1	供給ガス燃焼熱	656.0	95.98	コークス顕熱	296.6	43.39		
2	供給ガス顕熱	6.6	0.96	発生ガス顕熱	86.0	12.58		
3	供給空気顕熱	10.9	1.59	発生ガス水分顕熱	84.7	12.39		
4	装入炭顕熱	7.3	1.07	タール顕熱	12.8	1.88		
5	装入炭水分顕熱	2.7	0.4	副産物顕熱	5.8	0.85		
6				排ガス顕熱	79.4	11.61		
7				排ガス水分顕熱	12.8	1.87		
8				未燃分損失熱	1.1	0.16		
9				炉体放散熱	104.3	15.27		
計	683.5	100	計	683.5	100			

表 3 コークス炉の省エネルギー項目

省エネルギー項目	内 容		備 考
	[現状]	[基準]	
1 空気比調整	m=1.4 → 1.2		・ 燃焼管理強化 ・ O ₂ 制御導入
2 コークス温度低下	1100°C → 1010°C (なお、発生ガス温度低下) 720°C → 680°C		・ 端フリューの増熱対策 ・ 乾留温度管理と火落管理強化
3 装入炭水分減少	9% → 7%		・ 石炭水分管理・貯炭設備の改善
4 コークス炉ガス回収量アップ	307Nm ³ /t → 312Nm ³ /t	(Δ24 相当)	・ 上昇管の蓋の開閉タイミングの遅延化
5 塊歩留りの向上	65% → 65.8%	—	・ 塊節目を 25mm → 20mm (ただし、高炉適用は問題あり ここでは、ペンディングとした。)
6 CDQ の設置	0.5t-蒸気/t-coke	(Δ300 相当)	・ 限界時設置

表 4 コークス炉操業諸元・基準, 限界原単位

項 目	単 位	操業諸元・原単位		
		現 状	基 準	限 界
1 総 歩 留 り	%	75.0	75.0	75.0
2 塊 歩 留 り	%	65.0	65.0	65.0
3 稼 働 率	%	120	100	100
4 石 炭 発 熱 量	kcal/kg	7700	7700	7700
5 ター ー 発 生 量	kg/t	36	36	36
6 粗 軽 油	kg/t	7.4	7.4	7.4
7 燃 料 原 単 位	×10 ³ kcal/t	656	576	576
8 電 力 原 単 位	kWh/t	20	20	20
9 燃 料 ガ ス 発 熱 量	kcal/t	1200	1000	1000
10 COG 発 生 量	Nm ³ /t	307	312	312
11 V M	%	27	27	27
12 蒸 気	kg/t	6.7	6.7	6.7
13 庄 空	Nm ³ /t	3.5	3.5	3.5
14 用 水	kg/t	497	500	—
15 回 収 蒸 気	kg/t	—	—	500

基準値と同一としたが、排熱回収設備の CDQ が付加されるものとした。以上をまとめコークス炉現状・基準・限界諸元および原単位一覧を表 4 に示す。なお 4 章エネルギーバランスのバリエーションにおいて、VM 値の変化について検討を行う。

3.2 製鉄部門

製鉄部門(原料・焼結・高炉・熱風炉)はエネルギーの大消費部門であり、全体エネルギーバランスに大きな影響を与えるが、まだ理論的に技術的限界を求めることは難しい。そこで基準諸元として、2 章のモデル製鉄所前提諸元設定の中で示したように、現状実績をベースとして、焼結の粉コークス原単位を 45 kg/t-sinter, 高炉燃料比を 450(CR415+OR35)kg/t-pig とした。原料・焼結・熱風炉等の他の基準原単位は、代表製鉄所のアンケート結果および熱経済技術部会の調査データに基づき設定した。また高炉の操業変化の検討は、RIST の線図法²⁾により、計算で算出することにした。

3.2.1 原料部門の基準・限界原単位の設定

原料処理および輸送の電力原単位のみを考慮し、また特に顕著な省エネルギー対策はないとして、基準と限界を同一として設定し表 5 に示した。

3.2.2 焼結部門の基準・限界原単位の設定

基準原単位は、第 64 回熱経済技術部会資料より平均的な値を取り設定した。限界原単位は次のようにして設定を行った。粉コークスは、基準ペースに層厚アップ対策で 2 kg/t, 予熱焼結(排熱回収利用)で更に 3 kg/t 低減可能として、限界値を 40 kg/t と設定した。点火炉 COG については、基準値に対し、燃焼用空気予熱(排熱回収利用)により 5×10³ kcal/t の低減が可能とした。また、焼結用電力原単位は、実績の平均電力原単位 37 kWh/t に排煙脱硫用電力 7 kWh/t を加えて 44 kWh/t を基準値とし、省エネルギー対策での予熱焼結・燃焼用空気予熱の動力用電力アップ分 2 kWh/t を加えて 46 kWh/t を限界値とした。限界時には焼結機クーラー部排熱回収蒸気化も同時に行うものとした。表 5 にその基

表 5 原料・焼結部門基準・限界原単位

原 単 位	単 位	基 準	限 界
原料 電 力	kWh/t-取り扱ひ量 取り扱ひ: 鉄鉱石, ペレット 石炭, 石灰	4	4
焼結 粉コークス	kg/t-sinter (): 高炉ガス灰	45+(3.8)	40+(3.8)
点火炉 COG	×10 ³ kcal/t-sinter	21.5	16.5
電 力	kWh/t-sinter (脱硫用電力含む)	44.0	46.0

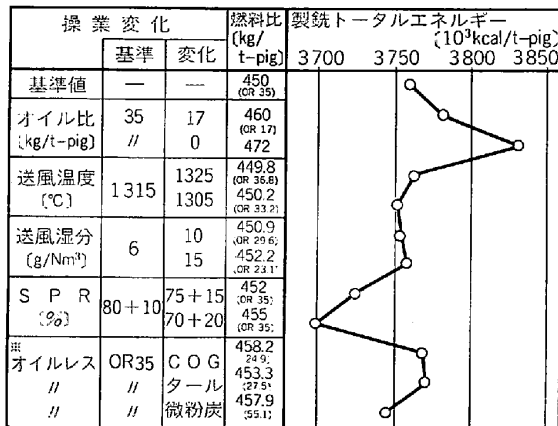
表 6 高炉基準諸元・原単位

	基 準 値
シャフト効率	(%) 96.7
燃料比	(kg/t) 450 (415+35)
送風温度	(°C) 1315
送風湿度	(g/Nm ³) 6
送風量	(Nm ³ /t) 1058
* BFG 発生量(生)	(Nm ³ /t) 1545
η _{oo}	(%) 51.2
BFG カロリー	(kcal/Nm ³) 696 (CO ₂ 22.7% CO 21.6% H ₂ 1.7%)
羽口先温度	(°C) 2463
炉頂圧力	(kg/cm ²) 2.15
〃 温度	(°C) 120
スラグ比	(kg/t) 310

*: BFG: 高炉ガス

表 7 溶銑およびスラグ成分表

		Fe(%)	SiO ₂	CaO	Mn	S	Al ₂ O ₃	備 考
焼結鉱	692.4×10 ³ t/月	56.5	5.8	9.5	0.4	0.01	1.9	} 所要鉄分 950kg/t-pig } 平均 Fe 分 58.1%
塊鉱石	86.6 "	65.6	3.7	0.15	0.06	0.002	1.2	
ペレット	86.6 "	63.2	3.7	2.6	0.05	0.02	1.4	
スラグ	164.1×10 ³ t/月	0.35	34.4	41.9	MnO : 0.2	0.8	13.3	スラグ比 310kg/t, CaO/SiO ₂ =1.22
溶 銑	529 ×10 ³ t/月	C : 4.5 Si : 0.42 Mn : 0.5 S : 0.03 P : 0.11						



※ COG HI= 4 551 kcal/Nm³
 タール HI= 8 200 kcal/kg
 微粉炭 HI= 7 211 kcal/kg (灰分 8%)

製鉄トータルエネルギー=原料+コークス炉+焼結+熱風炉+高炉
 -BFG発生-TRT電力(ただし送風電力除く)

図 2 高炉操業変化に対する製鉄トータルエネルギー

準・限界設定値を示した。今後更に進めるべき省エネルギー対策は、残りのクーラー部および主排ガスの排熱回収と漏風防止対策が主体となろう。

3.2.3 高炉・熱風炉の基準・限界原単位の設定と操業バリエーション

(1) 高炉・熱風炉の基準諸元・原単位設定

前述した高炉燃料比の他に、除湿送風・熱風炉排熱回収(空気予熱温度 200°C)、炉頂圧発電(以下 TRT)を前提設備条件として、表 6 に示す基準諸元を設定した。

(2) 溶銑成分等の決定

原料成分からの物質収支により、溶銑およびスラグ成分の決定を行い、表 7 に示した。

(3) 高炉操業変化に対するバリエーション

RIST の線図法を用い、1000°C での熱保存帯の平衡計算により、操業変化による製鉄トータルエネルギー変化を算出した。操業変化項目としては、オイル比減、送風温度変化、送風湿度アップ、焼結鉱・ペレット比率(以下 SPR) 変化、オイルレス化(COG, タール, 微粉炭等の吹き込み)をとり上げた。なお計算前提としては、高炉シャフト効率一定、羽口先温度一定、高炉内の CO, H₂ の還元比率は同一とした。図 2 にその結果を示すが、オールコークス操業では基準値に対し、72×10³ kcal/t-pig のエネルギーが増加し、一方 SPR(ペ

表 8 高炉限界諸元・限界原単位

	限界値	(参考) 計算値 (Rist 線図による)
シャフト効率 (%)	98.0	100.0
燃料比(CR+OR) (kg/t)	446(411+35)	440(405+35)
送風温度 (°C)	1 315	1 315
送風湿度 (g/Nm ³)	6	6
送風量 (Nm ³ /t)	1 050	1 037
BFG発生量(生) (Nm ³ /t)	1 518	1 511
η _{co} (%)	52.1	53.5
BFGカロリー (kcal/Nm ³)	685	662

ス 80+10 を 70+20(%) に変化) 時はペレットにエネルギー付与していないため、基準値に対し 60×10³ kcal/t-pig のエネルギー減となる。

(4) 高炉・熱風炉の限界諸元・原単位設定

以下の省エネルギー対策を取り入れて限界諸元の設定を行った。

①燃料比低減対策 装入物分布制御によるガス利用率アップを考えるが、この場合定量的な推定が困難なので、基準のシャフト効率 96.7% を 98.0% までアップできるものとして各諸元・原単位を算出し表 8 に示した。

②高炉炉頂均排圧ガス回収 BFG 発生量×0.6%

③TRT 用乾式除塵装置 TRT の入口温度が 50°C より 110°C に上昇し、TRT 発電量が 35.6 kWh/t より 42.9 kWh/t と出力アップする。

④熱風炉の炉内ガス偏流防止による熱効率アップ 2% 向上を見込んだ。

⑤高炉スラグ顕熱回収は、限界時全体にはエネルギーバランスより考え行うこととした。

(5) 高炉限界時操業バリエーションの検討

後述する 4 章での製鉄所内ガスバランスの検討を行うために、限界時の高炉オイルレス操業にかかわるいくつかのバリエーションを行い各諸元・原単位を算出した。その結果を表 9 に示す。

3.3 製鋼部門

製鋼部門の消費エネルギーは、総使用エネルギーに対して 4% と一見少ないように見えるが、溶銑の持ち込む潜熱がエネルギー量として 15% 相当もあり、また副原料を製造するためのエネルギー量が 6% 相当あるので、製鋼部門の省エネルギーは、消費エネルギーの削減、吹錬の高温反応による排出エネルギーの効率の良い回収、副原料の使用量の削減等が着眼点となる。

3.3.1 製鋼部門の基準・限界原単位の設定

表 9 高炉バリエーション (限界ベース) 結果の各諸元・原単位

項 目		操 業 ア ク シ ョ ン										
		基準値	限界値	オールコークス		COG吹き込み		タール吹き込み		微粉炭吹き込み		
				基準値	限界値	基準値	限界値	基準値	限界値	基準値	限界値	
シャフト効率	%	96.7,	98.0,	96.7,	98.0,	96.7,	98.0,	96.7,	98.0,	96.7,	98.0,	
熱風炉効率 η_{HS}	%	80.0	82.0	80.0	82.0	80.0	82.0	80.0	82.0	80.0	82.0	
高 炉	燃 料 比	kg/t-pig	450	446	472	468.2	458.2	454.0	453.3	449.4	457.9	454.0
	(コークス	"	415	411	472	468.2	433.3	429.1	425.8	421.9	402.8	399.4
	オイル etc	"	35	35	0	0	24.9	24.9	27.5	27.5	55.1	54.6
	送 風 比	Nm ³ /t-pig	1 058	1 050	1 131	1 121	1 044	1 036	1 056	1 047	1 043	1 035
	BFG 発生量 (生)	"	1 545	1 518	1 606	1 591	1 559	1 545	1 505	1 499	1 516	1 503
	BFG カロリー	kcal/Nm ³	696	685	※676	※661	705	693	686	671	694	677
	η_{CO}	%	51.2	52.1	50.7	51.6	51.1	52.0	51.4	52.4	51.2	52.8
	送 風 温 度	°C	1 315	1 315	1 120	1 120	1 315	1 315	1 315	1 315	1 315	1 315
	送 風 湿 分	g/Nm ³	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	羽 口 先 温 度	°C	2 463	2 463	2 462	2 462	2 460	2 458	2 461	2 460	2 463	2 463
炉 頂 圧 力	kg/cm ²	2.15	2.15	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	
炉 頂 温 度	°C	120	120	"	"	"	"	"	"	"	"	
ス ラ グ 比	kg/t-pig	310	310	316	313	310	310	310	310	310	310	
T R T 発 電 量	kWh/t-pig	35.6	42.7	37.0	44.8	35.9	43.5	34.9	42.2	35.0	42.3	
熱 風 炉	BFG 原単位 (生)	Nm ³ /t-pig	393	375	529	499	386	366	393	371	389	364
	COG	"	47	46.7	17	19.8	46	46.0	47	48.1	47	47.4
	Mガス カロリー	kcal/Nm ³	1 110	1 116	800	811	1 114	1 129	1 105	1 122	1 113	1 129

※ オールコークス時BFGカロリーは低下しているが、これは $\eta_{H_2} = \eta_{CO}$ として計算したことによる。他条件も同様に処理した。

表 10 製鋼部門の基準・限界原単位

項 目	単 位	基準値	限界値	省エネルギー対策	備 考	
焼 成 工 場	COG	Nm ³ /t-ca0	210	210		ロータリーキルン方式
	電 力	kWh/t-ca0	40	40		
転 炉 造 塊	酸 素	Nm ³ /t	45	43	溶銹温度降下防止, 吹錬パターンの変更	上吹きでOG+ボイラーとする。
	電 力	kWh/t	24	20	ブローア回転数制御, ポンプ類の省電力	
	窒 素	Nm ³ /t	12	10	シール窒素の運転管理の見直し	
	COG	Nm ³ /t	3.3	3.3	レキユの設置, 投入パターンの見直し	
	LDG回収	Nm ³ /t	100	104	炉圧制御, 迅速分析計の設置	
蒸 気	kg/t	—	60	排熱回収 (排ガス温度 400°C)		
脱 ガ ス	蒸 気	kg/t	35	28	浸漬管の径の変更, 蒸気使用パターンの改善	RH法 粗鋼量の 25% 脱ガス 向とする。
	電 力	kWh/t	1.2	1.0	冷却ポンプ稼働見直し	
	COG	Nm ³ /t	1.0	0.5	乾燥, 保温の管理強化	
連 鑄	ス ラ ブ 電 力	kWh/t	5	4	ポンプ類の運転管理強化	ス ラ ブ C/C比率 75% ブルーム C/C比率 50% 全 C/C比率 70%
	COG	Nm ³ /t	1.0	0.5	タンディッシュ(T/D) 昇熱パターンの改善	
	ブルーム 電 力	kWh/t	12	6	連々鋸アップによる, ポンプ類の省電力	
	COG	Nm ³ /t	1.0	0.6	T/D 昇熱パターンの改善, 断熱強化	
連 鑄 精 整	ス ラ ブ 電 力	kWh/t	6	4	成品 (スラブ, ブルーム) の表面品質改善 による原単位低減	ス ラ ブ 40% } HCR輸送 ブルーム 70% }
	酸 素	Nm ³ /t	4	2		
	COG	Nm ³ /t	0.8	0.5		
	ブルーム 電 力	kWh/t	2	1.3		
	酸 素	Nm ³ /t	1.5	1.0		
COG	Nm ³ /t	0.3	0.2			

製鋼部門は①焼成工場②転炉・造塊③脱ガス④スラブ・ブルーム連鑄⑤連鑄精整に区分し、代表製鉄所のアンケート結果および各社の操業実績値をもとに、基準原単位を設定し、更に省エネルギー対策を上乗せしたものを限界値とした。焼成工場は、ロータリーキルン方式とし特に省エネルギー対策はないとして、基準と限界を同一値とした。転炉・造塊での酸素原単位は基準値を 45 Nm³/t とし、限界値は省エネルギー対策として①溶銹温

度低下防止 (1180°C→1130°C に 50°C アップ) による鉄鋼石増による酸素原単位減 1.5 Nm³/t, ②最適吹錬パターンの設定による原単位減少 0.5 Nm³/t を取り入れて 43 Nm³/t とした。また電力値は、基準を 24 kWh/t とし、①IDF, 集塵ブローア回転数制御による減少 3.5 kWh/t ②冷却水ポンプ等の管理強化による省電力 0.5 kWh/t を取り入れた。転炉ガス (以下 LDG) の回収原単位は、基準を溶銹配合比 92% とし 100 Nm³/t と

した。限界設定は分析計の精度アップ、炉圧制御改善対策を入れ 104 Nm³/t とした。転炉の排熱回収は、基準では行わないが限界時は、転炉排ガスを 400°C まで熱回収を行うことで回収蒸気原単位 60 kg/t を設定値とした。脱ガス部門では処理方式を RH 式とし、蒸気の基準原単位を 35 kg/t とし、限界時浸漬管の径変更による処理時間短縮等で 7 kg/t 低減するとして 28 kg/t を限界値とした。連铸部門のスラブ電力基準原単位は、5 kWh/t とし冷却水ポンプ類の運転管理強化により 1 kWh/t 低減可能とし、限界値を 4 kWh/t とした。連铸精整部門のスラブ電力基準値は、6 kWh/t とし、限界値は铸造成品表面品質改善により 4 kWh/t を設定値とした。その他製鋼部門各原単位の基準・限界の設定値と省エネルギー対策項目を表 10 の一覧表に示す。なお限界時において転炉スラグの顕熱回収蒸気化は、全体蒸気回収バランスより考え不要とした。また 4 章において CC 比率の変化のエネルギーバランスへの影響を検討する。

3.3.2 製鋼部門のその他の省エネルギーについて

製鋼部門の省エネルギーは消費エネルギーの削減以外に下記の項目を考慮しておく必要がある。

(1) 溶鋼温度降下防止

転炉出鋼から脱ガス・铸造工程までの溶鋼温度降下量は 50°C もあり、この降下量を 35°C にすると、脱りんの向上・焼石灰原単位の低減・スラグ量の減少・歩留り向上・脱酸剤の使用量の削減などで、10~20×10³ kcal/t の省エネルギーとなる。

(2) 溶銑予備処理

脱珪・脱硫は溶銑段階で処理した方が、転炉吹錬負荷も小さく、30~40×10³ kcal/t の省エネルギーとなる。

(3) 溶鋼脱ガス処理

溶鋼は、従来脱酸剤を添加し目標成分に調整されるが、脱ガス処理した溶鋼は鋼中酸素が低いために、脱酸剤の使用量も少なくなり、40~50×10³ kcal/t の省エネルギーとなる。

(4) 複合吹錬

品質、歩留り、ガス回収の向上のため、底吹き+上吹き複合吹錬が実施または計画されている。これを省エネルギー面から検討すると、①脱炭効率向上による酸素原単位の低減、②鋼中酸素の減少および吹き止めマンガンアップによる脱酸剤の使用量の減少、③脱りん向上による焼石灰原単位の低減、④歩留り向上、④ガス回収量増加などがある。CO₂、Ar などの増エネルギーの要因

表 11 分塊スラブ、ピレット部門基準・限界原単位

	スラブ部門		ピレット部門					
	基準	限界	基準		限界			
			条鋼	鋼管	条鋼	鋼管		
燃料	リムド	×10 ³ kcal/t-加熱	40	25	114	—	44	—
	キルド	"	115	82	189	224	100	155
	冷塊	"	339	270	441	453	285	340
	計	"	55	37	157	240	76	168
電力		kWh/t	34	26	62		52	
その他	ホットスカーフ燃料	×10 ³ kcal/t	4	4	1		1	
	蒸気	kg/t	7	7	12		12	
	酸素	Nm ³ /t	5	5	4		4	
	圧空	"	13	13	25		25	
	用水	m ³ /t	12	12	9		9	

表 12 スラブ用均熱炉の省エネルギー対策と限界燃料原単位設定

	リムド、セミキルド	キルド	冷塊
操業前提			
装入鋼塊温度	1235°C	940°C	常温
抽出鋼塊温度	1250°C	1250°C	1300°C
予熱空気温度	450°C	450°C	450°C
炉体断熱密閉化対策	有	有	有
準無加熱比率(%)	20%(6×10 ³ kcal/t)	—	—
間欠燃焼比率(%)	57.4%(28×10 ³ kcal/t)	—	—
HDR比率(原単位)	22.6%(50×10 ³ kcal/t)	—	—
実績最良燃料原単位	29×10 ³ kcal/t-加熱	115×10 ³ kcal/t-加熱	410×10 ³ kcal/t-加熱
省対エネルギー策	装入鋼塊温度上昇	—	温塊化 △23.2%(+350°C)
	予熱空気温度強化 (450°C→600°C)	△7.9%	△7.9%
	Mガス予熱 (400°C)	△7.4%	△7.4%
限界燃料原単位	25×10 ³ kcal/t-加熱	82×10 ³ kcal/t-加熱	270×10 ³ kcal/t-加熱

表 13 プルーム用加熱炉の省エネ対策と基準・限界燃料原単位

区分	省エネ対策	低減率	燃料原単位	備 考
ベース	—	—	300×10 ³ kcal/t-加熱	全量 500°C ホットチャージ
—	装入温度 200°C 上昇 燃焼改善, 断熱強化 低炉床負荷操業 レキュペレータ高効率化 DDC化ヒートパターン改善	△20 % △ 3.4% △ 8.0% △ 9.0% △10.0%	—	バーナ改善, O ₂ 制御他 予熱空気 200°C 上昇 (400→600°C)
基準	(計)	(△41.7%)	175×10 ³ kcal/t-加熱	
—	炉形状改善 M ガス予熱	△ 1.7% △ 5.9%	—	ガス温度 350°C
限界	(計)	(△ 7.5%)	162×10 ³ kcal/t-加熱	

はあるが、全体として 20~30×10³ kcal/t の省エネルギーとなる。従つて今後の省エネルギーは、エネルギー利用効率の向上、排熱回収を推進とともに吹錬技術の改善について追求しなければならない。

3.4 分塊部門

分塊は CC 比率の向上、直送圧延 (以下 HDR) の拡大、CC プルーム用加熱炉の普及および均熱炉加熱法の改善により操業形態は従来に比べ大幅に変化してきている。また CC 法の充実化に伴い、分塊部門は生産量や製品鋼種の変動調整部門になつている。そのためエネルギー原単位は、工程・生産量・製品鋼種構成・トラックタイム (T.T.) 等の変動要因により、製鉄所間に大きなばらつきがある。そこで燃料原単位の設定は、各構成部門ごとの全国製鉄所の最良に近い値を基準値とし、更に省エネルギー対策を織り込んで限界値を設定することにした。なおモデル製鉄所の分塊の構成は、①分塊スラグ、②分塊ピレット、③ CC プルームとよくなる。

3.4.1 インゴットスラブ・ピレット部門の基準・限界原単位の設定

基準および限界の各原単位の設定を表 11 に示した。基準燃料原単位は、代表製鉄所アンケート結果を基に、現状実績最良に近い値を用い、更に限界値はスラブの鋼種別に省エネルギー対策を織り込んで設定した。その算出経過も併せ表 12 に示す。電力原単位は各社アンケート実績値の平均に、生産量補正をした値を設定し、その他用役原単位は、アンケート実績平均値を採用した。なお電力・その他用役エネルギーは、基準も限界も同一値とした。

3.4.2 CC プルームピレット部門の基準・限界原単位の設定

プルーム加熱法は加熱炉方式により設定した。燃料原単位は全量熱片装入 (以下 HCR) をベースとして、その上に省エネルギー対策を織り込んで設定した。その値の算出経過も併せ表 13 に示した。また同様に電力原単位の基準および限界値を表 14 に示した。

3.5 圧延部門

圧延部門の主な消費エネルギーは、炉での燃料と圧延

表 14 プルームピレットの電力基準・限界原単位

区分	省エネルギー対策	低減率	電力原単位	備 考
基準	—	—	34kWh/t	
—	燃焼フロア回転数制御等 電気室ミルテーブル節電	△ 6.0% △10.0%	—	
限界	(計)	(△15.4%)	29kWh/t	

表 15 熱延加熱炉熱バランス

	排熱回収強化 (冷片ベース)	低温抽出	HCR	HCR 低温抽出	
Total 排熱回収率 %	65	65	65	65	
Recu 前排ガス温度 °C	671	652	616	607	
予熱空気温度 °C	610	592	557	548	
予熱ガス温度 °C	257	251	235	231	
Recu 出口排ガス温度 °C	237	231	218	215	
鋼材抽出温度 °C	1200	1170	1200	1170	
鋼材装入温度 °C	30	30	450	550	
熱バランス表×10 ³ kcal/t					
入 熱	燃料燃焼熱	261	253	195	169
	排熱回収顕熱	65	61	44	38
	装入材含熱量	3	3	57	73
	計	321	317	296	280
出 熱	抽出材含熱量	196	190	196	191
	排ガス顕熱	100	94	68	58
	炉体放散	10	9	9	9
	冷却水損失	23	24	23	22
	計	321	317	296	280

機での電力である。炉の燃料原単位については、自己還元型排熱回収による省エネルギー型加熱炉により加熱するものとし、理論的に算出することにした。省エネルギー型加熱炉は、煙突下排ガス温度が必要なドラフトを得る温度 (200°C~300°C) まで、熱交換器により排熱回収を行うものである。

燃料原単位の基準および限界値は、HCR の温度・量、HDR の量、および鋼材の抽出温度等のレベルを決めて計算した。電力およびその他の用役各原単位は、各社アンケート結果と各分科会報告書のデータを基に設定した。なお主要工場である熱延・厚板・条鋼については、鋼材の抽出温度、HCR における装入温度および比率についてバリエーションを行い、省エネルギー効果を

表 16 圧延部門基準・限界原単位

		基準処理量	基準原単位	限界処理量	限界原単位
熱延	燃料(総合)	316 kt/月	248×10 ³ kcal/t	316 kt/月	216×10 ³ kcal/t
	冷片装入	(75%) 236	261 "	(60%) 190	253 "
	H C R	(19%) 60	195 "	(40%) 126	169 "
	H D R	(6%) 20	89 (保熱)	0	0
	保熱・昇熱	316	10	316	10 "
電力	313	80kWh/t	313	82kWh/t	
厚板	燃料(総合)	120 kt/月	273×10 ³ kcal/t	120 kt/月	253×10 ³ kcal/t
	連続炉冷片装入	(70%) 77	280×10 ³ kcal/t	(60%) 72	272×10 ³ kcal/t
	" H C R	(30%) 36	219 "	(40%) 48	196 "
	バッチ炉	7	299 "	7	299 "
	保熱・昇熱	120	10 "	120	10 "
電力	115	90kWh/t-スラブ	115	92kWh/t-スラブ	
条鋼	燃料(総合)	38 kt/月	219×10 ³ kcal/t	38 kt/月	183×10 ³ kcal/t
	冷片装入	(50%) 19 "	227 "	(30%) 11 "	221 "
	H C R	(50%) 19 "	191 "	(70%) 27 "	153 "
	保熱・昇熱	38 "	10 "	38 "	10 "
	電力	36	80kWh/t	36	82kWh/t

表 17 厚板バッチ炉熱バランス

	現状(ベース) (代表炉)	基準(=限界) 低空比化 排熱回収強化 炉体断熱	
空気比	1.2	1.1	
排熱回収率 %	30	50	
炉体断熱効果 %	0	60	
炉体放散×10 ³ kcal/t	1 010	404	
炉体蓄熱量 "	3 212	1 285	
熱バランス表×10 ³ kcal/t			
入熱	燃料燃焼熱	433	299
	排熱回収顕熱	62	67
	装入材含熱量	3	3
計	498	369	
出熱	抽出材含熱量	195	195
	排ガス顕熱	209	136
	炉体放散	22	9
	炉体蓄熱量	72	29
計	498	366	

検討した。また製鋼から熱延への工程別エネルギー原単位および歩留りについても比較検討を行った。

3.5.1 圧延部門主要工場の基準・限界原単位の設定

(1) 熱延工場

熱延加熱炉はウォーキングビーム(WB)式連続加熱炉で、炉長 45 m, 炉幅 10.5 m, 加熱能力 300 t/h, 基数 3 基とした。表 15 は熱延加熱炉の各ケースの排熱回収状況と熱バランスを示したものである。これは加熱炉内での伝熱計算と熱バランス式により算出したものである。表 16 は月間の生産量, 冷片装入, HCR, HDR の比率を考慮した基準・限界原単位設定を示す。限界時での電力原単位は、抽出温度を 30°C 低下させた低温抽出を行うため、2 kWh/t 増加するとした。

(2) 厚板工場

厚板工場の連続加熱炉は、WB 式で炉長 35 m, 炉幅 8 m, 加熱能力 150 t/h, 基数 2 基とし、また、バッチ炉は

45 t/ch×2 基とした。連続加熱炉については、熱延加熱炉と同様に伝熱計算と熱バランス式により原単位を算出した。バッチ炉は排熱回収率 50% でかつ炉体断熱強化により放散熱 60% 減の炉としてバランスを算出し表 17 に示した。表 16 に月間の生産量, 冷片装入・HCR 比率, バッチ炉の生産量等を考慮した基準・限界原単位設定値を示す。

(3) 条鋼工場

条鋼工場の連続加熱炉は、ウォーキングハース(WH)式加熱炉で、炉長 35 m, 炉幅 10 m, 加熱能力 120 t/h, 基数 1 基とした。燃料原単位算出は熱延・厚板と同様の方法であるが、WH 式であるため冷却水損はないものとして計算した。表 16 に基準・限界値を示した。

3.5.2 圧延部門のバリエーション

図 3 は熱延・厚板・条鋼工場における抽出温度の低下 HCR 装入温度の上昇, HCR 比率の増加等を行った場合のエネルギー原単位の変化をみたものである。ここでは、燃料ガスのほかに、電力・蒸気・用水および圧空を熱量に換算して算出した。

3.5.3 工程別エネルギー原単位・歩留り比較

工程変更による省エネルギー効果をみるために、製鋼から熱延に至る各工程別の歩留りとエネルギー原単位を試算し表 18 に示した。最もエネルギー原単位が低いのは、ケース(2)連続=HCR 法の 453.4×10³ kcal/t であり、最も高いのは、ケース(3)分塊=冷片装入法の 662.4×10³ kcal/t である。最高と最低の差は 209.0×10³ kcal/t にもなる。

4. モデル製鉄所のエネルギーバランス

本章では 2 章で設定したモデル製鉄所の操業諸元および 3 章で報告した各工程の省エネルギー対策、バリエーション結果を基に、製鉄所のエネルギーバランスがどのようなものになるのか、基準ベース・限界ベース(表 19)

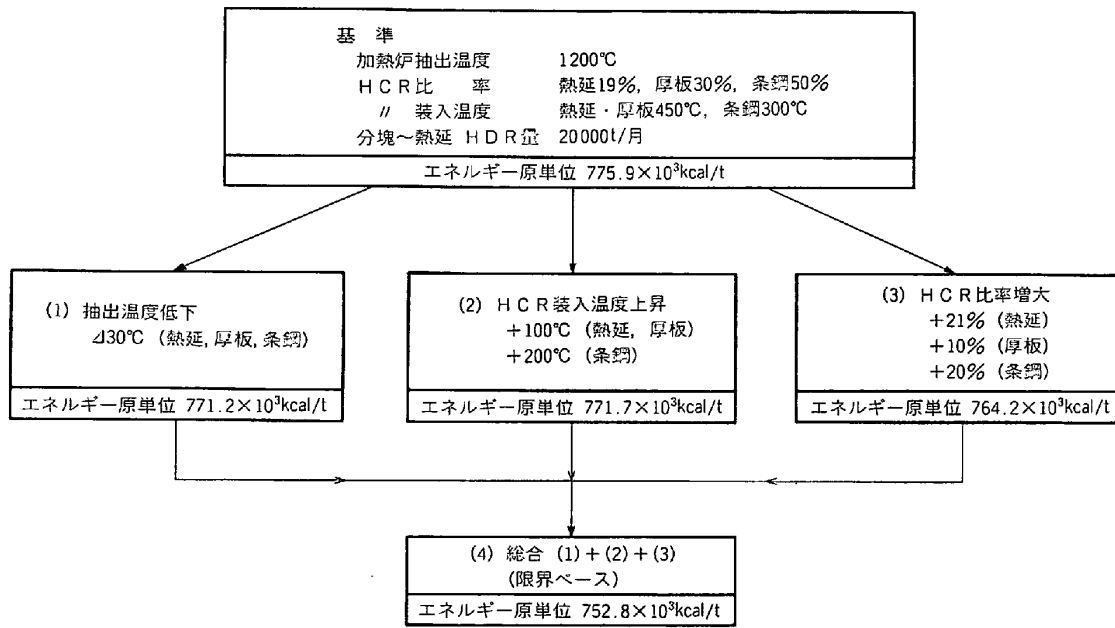


図 3 圧延部門パリエーション結果

表 18 製鋼・熱延工程別歩留りとエネルギー原単位

工 程	ケース(1)	ケース(2)	ケース(3)	ケース(4)	ケース(5)
	連鑄冷片装入	連鑄HCR	分塊冷片装入	分塊HDR	分塊HCR
加熱炉装入温度	常 温	550°C	常 温	—	850°C
歩 留 り %	連 鑄	98.00	98.00	—	—
	分 塊	—	—	92.00	91.00
	熱 延	97.15	97.25	97.15	97.75
合 計	95.21	95.31	89.38	88.98	89.47
エネルギー原単位 ×10 ³ kcal/t	連 鑄	37	37	—	—
	分 塊	—	—	159.6	182.7
	熱 延	502.8	416.4	502.8	331.9
合 計	539.8	453.4	662.4	514.6	545.7

のおのおのについて試算した。なお、試算するに当たつて副生ガス配分、動力設備諸元、限界ベースにおける排熱回収方法および各エネルギーの基準発熱量は以下のごとく設定した。

(1) 副生ガス配分 コークス炉、高炉・熱風炉は必要発熱量見合いのMガス(BFGとCOGの混合ガス)を使用、均熱炉・加熱炉・石灰焼成炉は2500 kcal/Nm³のMガス使用、熱処理炉等上記以外の設備はCOG使用とする。

(2) 発電設備 各熱設備配分後の副生ガスの専焼とし、不足電力は購入、余剰電力は外販とする。諸元設定は発電効率(基準35.1%、限界36.6%)のみとし、バーナ・ボイラ・発電容量・設置基数等は設定しなかつた。

(3) 高炉送風設備 電動送風機とし、送風除湿装置は吸収式冷凍機使用の吸い込み式冷却方式とした。

(4) 酸素製造設備 酸素・窒素製造とし、アルゴ

ン製造は含まない。電力原単位は基準を0.7 kWh/Nm³-O₂、限界を0.65 kWh/Nm³-O₂とした。

(5) プロセス蒸気設備 基準では専用ボイラ方式による供給とし、限界では全量排熱回収蒸気による供給とした。蒸気条件は、10 ata、200°Cで設計した。

(6) プロセス用圧縮空気設備 分散型2系統圧送方式とし、全所内使用量と製造原単位のおおのは、
基準 150 Nm³/t-steel 0.1 kWh/Nm³
限界 140 Nm³/t-steel 0.09 kWh/Nm³とした。

(7) 限界ベースにおける排熱回収方法 図4に示すように、混圧抽気復水タービンによる集中発電方式とし、タービン抽気によるプロセス蒸気需給制御を行うものとした。

(8) 燃料および用役の基準発熱量 表20に示す値を使用した。

表 19 基準および限界ベースにおける工程別主要諸元

工 程	基 準 ベ ー ス	限 界 ベ ー ス
コークス炉	燃料原単位 576×10 ³ kcal/t-coal	CDQ 設置 (発電用に利用)
焼 結	粉コークス原単位 45kg/t 電力原単位 (脱硫設備含む) 44kWh/t	クーラー熱風利用による, 燃焼用空気予熱, 予熱焼結, および蒸気回収を実施
高 炉	燃料比 450kg/t (CR 415, OR 35) 熱風炉燃料原単位 490×10 ³ kcal/t 熱風炉空気予熱器, TRT, 除湿装置設置	燃料比 446kg/t (CR 411, OR 35) 熱風炉燃料原単位 476×10 ³ kcal/t 炉頂均排圧ガス回収, 炉頂ガス乾式集塵 (TRT 出力アップ) スラグ成品顕熱回収を実施
転炉・CC	LDG回収原単位 100 Nm ³ /t C/C比率 70%	LDG 回収原単位 104 Nm ³ /t OG+ボイラによる蒸気回収を実施
分 塊	板用リムド 40×10 ³ kcal/t, キルド 115×10 ³ kcal/t 条鋼, 管材用リムド 114×10 ³ kcal/t, キルド 215×10 ³ kcal/t	板用リムド 25×10 ³ kcal/t, キルド 82×10 ³ kcal/t 条鋼, 管材用リムド 44×10 ³ kcal/t, キルド 141×10 ³ kcal/t ガス予熱, 蒸気回収を実施
熱 延	燃料原単位 248×10 ³ kcal/t 電力原単位 80kWh/t HDR 6%, HCR 19%, ガス予熱を実施	燃料原単位 216×10 ³ kcal/t 電力原単位 82kWh/t HCR 40%, HCR 温度 450°C→550°C 抽出温度 1200°C→1170°C
厚 板	燃料原単位 273×10 ³ kcal/t 電力原単位 90kWh/t HCR 30%, ガス予熱を実施	燃料原単位 216×10 ³ kcal/t 電力原単位 92kWh/t HCR 40%, HCR 温度 450°C→550°C 抽出温度 1200°C→1170°C
条 鋼	燃料原単位 219×10 ³ kcal/t 電力原単位 80kWh/t HCR 50%, ガス予熱を実施	燃料原単位 183×10 ³ kcal/t 電力原単位 82kWh/t HCR 70%, HCR 温度 300°C→500°C 抽出温度 1170°C→1140°C
動 力	発電効率 (送電端) 35.1% 高炉送風 送風機断熱効率 86%, 除湿装置付 酸素電力原単位 0.7kWh/Nm ³ -O ₂ プロセス蒸気 専用ボイラ方式による	発電効率 (送電端) 36.6% 酸素電力原単位 0.65kWh/Nm ³ -O ₂ プロセス蒸気 排熱回収蒸気で全量賄う

表 20 燃料および用役の基準発熱量

種 類	基準発熱量 (H/L)
原 料 炭	7 700 kcal/kg
高炉吹き込み用石炭	7 250 "
高炉吹き込み用オイル	9 200 kcal/l
コ ー ク ス	7 200 kcal/kg
タ ー ク ル	8 650 "
粗 氈 油	9 720 "
コークス炉ガス (COG)	4 579 kcal/Nm ³
高 炉 ガ ス (BFG)	696 "
転 炉 ガ ス (LDG)	2 000 "
電 力	2 450 kcal/kWh
酸 素	1 715 kcal/Nm ³
蒸 気	800 kcal/kg

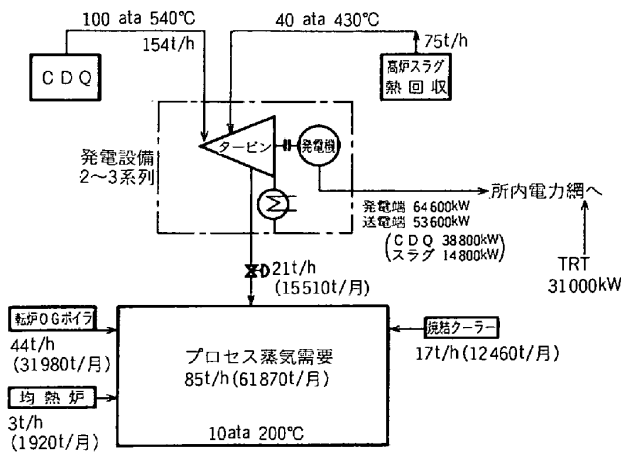


図 4 限界ベースにおける排熱回収系統

4.1 基準・限界ベースにおけるエネルギーバランス

試算結果を, 表 21, 図 5, 図 6 に示した. 基準ベースで粗鋼 t エネルギー原単位は 5175×10^3 kcal/t であり, 限界では 4696×10^3 kcal/t となり基準ベースに比べ 9.3% 減少する. エネルギーバランスでみると, 基準ベースでは, 依然として 48×10^6 kWh/月の電力購入が必要であるが, 限界時には電力換算で 36×10^6 kWh/月の余剰エネルギーが発生する.

4.2 基準ベースにおける操業諸元変化の影響

一貫製鉄所のエネルギーは, 全体が一つの系として運用されるため, 各工程の操業変化すべてが全体のエネルギーバランスに影響を与える. ここでは 3 章各項で検討したバリエーション結果の中から, 特に影響が大きいと考えられる, 高炉オイル比, VM, CC 比率の変化と全体のエネルギー変化について試算した.

(1) 高炉オイル比の変化 ①OR 35 kg/t, ②OR 17 kg/t, ③オールコークスの 3 ケースについての試算結果を図 7 に示した. オイル比減, コークス比増は副生ガスの増加により購入電力を減少させるが, エネルギー原

表 21 基準・限界ベースにおけるエネルギー構成とエネルギー原単位

購入外販エネルギー	基 準 ベ ー ス			限 界 ベ ー ス			
	購入・外販量	同左熱量換算 ×10 ³ kcal/月	構成比%	購入・外販量	同左熱量換算 ×10 ³ kcal/月	構成比%	
購 入	原料炭	338 500 t /月	2 606.5	89.7	334 500 t /月	2 575.8	93.4
	吹き込み用オイル	19 700 kl /月	181.2	6.2	19 700 kl	181.2	6.6
	購入電力	48 332 × 10 ³ kWh /月	118.4	4.1	—	—	—
	小 計	—	2 906.1	100	—	2 756.9	100.0
外 販	粉 コークス	2 500 t /月	△ 18	△ 0.6	5 800 t /月	△ 41.2	△ 1.5
	ター	12 200 "	△ 105.4	△ 3.6	12 000 "	△ 104.2	△ 3.8
	粗 軽 油	2 500 "	△ 24.5	△ 0.8	2 500 "	△ 24.1	△ 0.9
	外 販 電 力	—	—	—	36 000 × 10 ³ kWh /月	△ 84.6	△ 3.0
	小 計	—	△ 147.9	△ 5.0	—	△ 254.1	△ 9.2
計	—	2 758.2	—	—	2 502.8	—	
粗鋼 t エネルギー原単位	5 175 × 10 ³ kcal/t			4 696 × 10 ³ kcal/t			
成品 t エネルギー原単位	5 606 × 10 ³ kcal/t			5 087 × 10 ³ kcal/t			

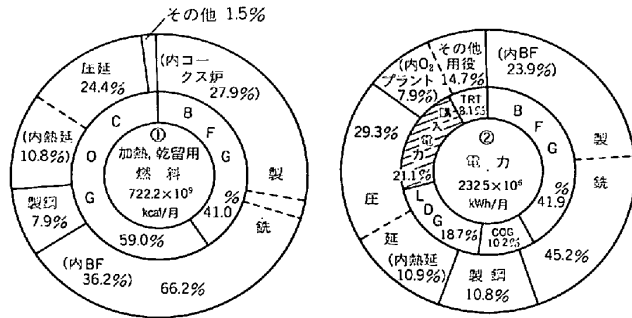
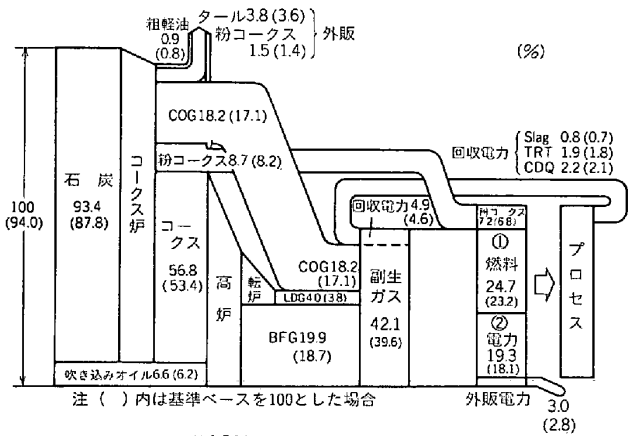
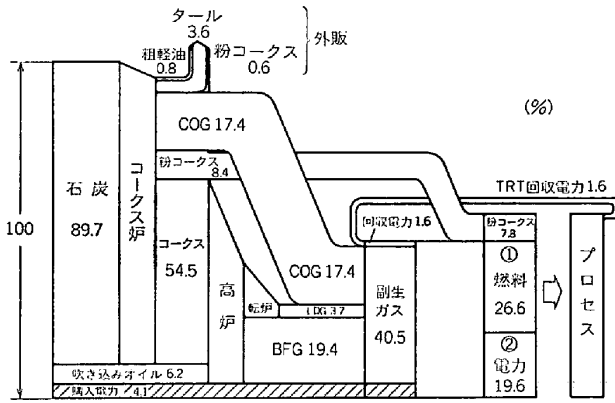


図 5 基準ベースのエネルギーフローと燃料、電力使用バランス

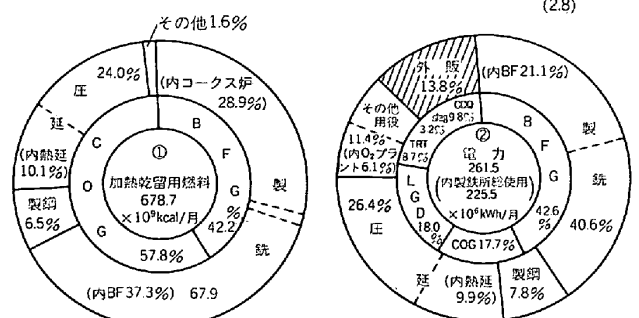


図 6 限界ベースのエネルギーフローと燃料、電力使用バランス

単位は増加する。

(2) 石炭揮発分 (VM) 25, 27, 29%の3ケースについての試算結果を図8に示した。VM 値±2%の変化のエネルギーバランスへの影響は下記ようになる。

- 石炭比 640 ± 16 kg/t-pig
- 補充エネルギー 225 ± 39 × 10³ kcal/t-steel
- タール等外販エネルギー 277 ± 23 × 10³ kcal/t-steel
- エネルギー原単位 5 175 ± 38 × 10³ kcal/t-steel

(3) CC 比率 ①基準比率70%と②80%の2ケースについての試算結果を表22に示した。なお、試算にあたっては成品生産量および購入屑を一定として、

歩留り変化による所内発生屑の変化分は、転炉装入原料で変化させることとした。結果は、CC 比率アップにより、粗鋼 t エネルギー原単位は 19 × 10³ kcal/t-steel 上昇するが、成品 t エネルギー原単位は 42 × 10³ kcal/t の低減となる。

4.3 限界ベースにおける高炉燃料比変化の影響

限界ベースにおいては、高炉吹き込み用オイルを除き、全エネルギーを石炭で賄うことが可能となり、かつ相当量のエネルギーが余剰となる。更に限界時オールコークス操業を行うと余剰エネルギーは、さらに増加し電力換算で 66 × 10⁶ kWh/月にもなる。この余剰エネルギ

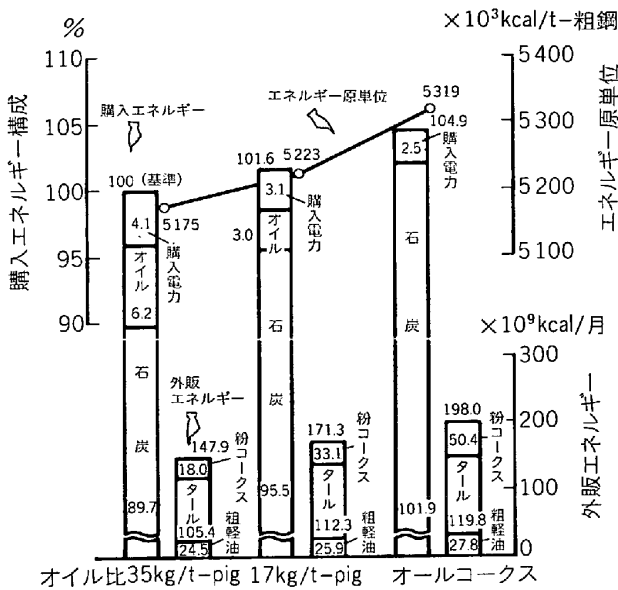


図 7 高炉オイル比変化の影響

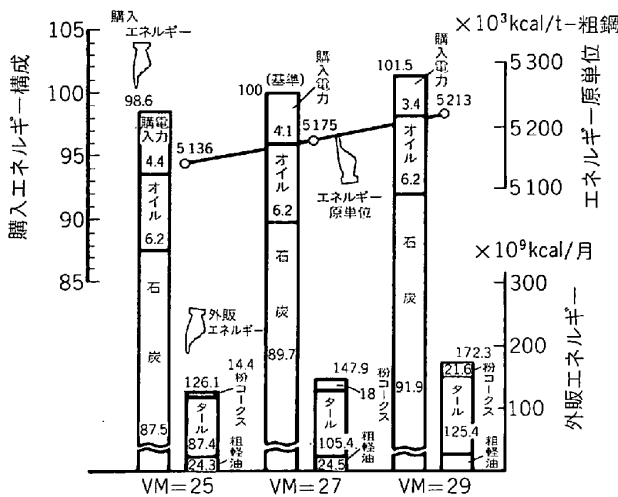


図 8 石炭揮発分変化の影響

表 22 C C 比率変化の影響

	C C 比率	C C 比率		差異
		70%(基準)	80%	
成品 t エネルギー原単位 ×10 ³ kcal/t		5606	5564	△42
粗鋼 t		5175	5194	+19
粗鋼生産量 kt/月		533	527	△6
成品		492	492	—
購	原料炭 kt/月	338.5	336.9	
入	オイル kl/月	19.7	19.65	
	購入電力 ×10 ⁶ kWh/月	48.3	45.5	
	熱量換算小計 ×10 ⁹ kcal/月	2906.1	2886.4	△19.7
外	粉コークス kt/月	2.5	2.8	
販	タール	12.2	12.1	
	粗軽油	2.5	2.5	
	熱量換算小計 ×10 ⁹ kcal/月	△147.8	△149.1	+1.3
"	合計	2758.3	2737.3	△21.0

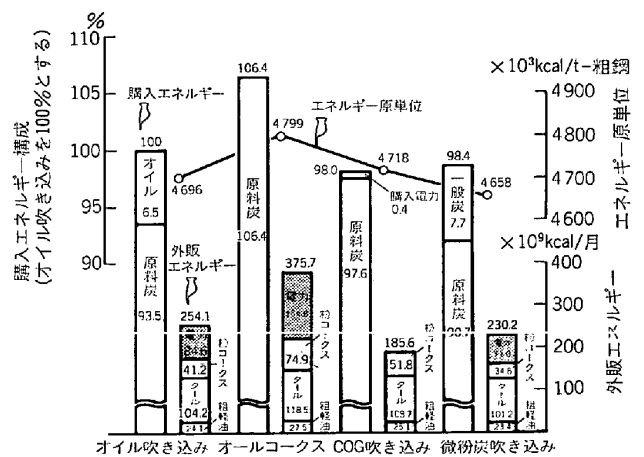


図 9 限界ペースにおける高炉燃料変化の影響

一は、ガス(燃料あるいは化学原料源)、電力、蒸気などの形で、隣接企業あるいは民生用などへの外販が考えられるが、ここでは余剰エネルギーを減少させる対策となる高炉での微粉炭吹き込み、COG 吹き込みについて試算した。結果を図 9 に示すが、いずれも余剰エネルギーを大幅に減少させると同時にエネルギー原単位も減少する。これは製鉄所の自己完結志向型エネルギー対策の例である。

5. モデル製鉄所でのエネルギー需給調整

4章で検討したように、モデル製鉄所での省エネルギーが限界ペースまで進んでくると、製鉄所のオイルレスは実現し、更に外販可能な余剰エネルギー(対購入エネルギーの 9.2%)が発生することになる。そこで、副生ガスの有効利用方法、特にどの設備にいくらの発熱量のガスを供給すべきか、エネルギー需給調整機能はいかにすべきか、エネルギー転換設備である動力設備、そして排エネルギーの回収利用法はいかにあるべきか等の課題が生じる。これらについて個々の具体的方法を検討した。

5.1 副生ガスの利用方法

製鉄所で発生する副生ガスをいくらの発熱量にして使用すべきかについては、従来からも種々論ぜられてきたが確固たる結論を得ていない。この課題については、基本的に次の 2つの考え方がある。

(1) 高温を要する熱設備に対しては、発熱量の高い燃料を優先して供給すべきである、とする考え方が 1つである。発熱量の高い COG は、圧延部門の加熱炉へ、発熱量の低い BFG はボイラへということになる。利点としては、同一設備で燃焼すれば熱効率・処理能力が高くなり、また発熱量当たりの輸送コストは安くなる。欠点としては、いくらの燃料でも効率良く使用しようとする適応力に欠け、エネルギー情勢変化への対応力がないことである。もう一つの考えは、

(2) 発熱量の低い燃料も、各種の熱設備で積極的に

利用しようとするもので、目的に応じた必要最少限の発熱量で供給しようとする考えである。そのためには、対象とする設備においてその燃料を使用可能とする技術が伴っていないとすればならない。コークス炉、熱風炉、均熱炉、加熱炉等でMガスを使用することは、この考えに基づいている。更に燃焼用空気の予熱、燃料ガスの予熱により燃焼ガス温度を上昇させることができるので、設備費をかければ熱効率を高めることができる。例えば、Mガス 2000 kcal/Nm³ で、空気予熱温度を 600°C にした場合、COG 4590 kcal/Nm³ 相当の理論燃焼ガス温度が得られる。また、燃料ガスの予熱により更に理論燃焼ガス温度を高めることができ、この場合の効果は、発熱量の低いガスほど温度上昇の割合が大きいので、COG であると熱効率が高く、Mガスであると熱効率が低いということにはならない。従つて、熱効率は熱交換器によりいかに排熱を回収するかで決まるものである。この考え方の利点は、エネルギー情勢変化への適応力があること、Mガス発熱量を適当に選定することにより NO_x 対策となることなどである。欠点としては、発熱量当たりの輸送コストが高くなること、使用側での設備費がかかること等である。

以上副生ガスの利用方法について、熱技術上の基本的考え方について述べた。

この他に副生ガスの発生・使用設備のレイアウト上の問題・需給調整上からの制約・将来の付加価値化への可能性 (C₁ 化学への利用、副生ガスの外販)・環境対策及び安全性等の条件からも検討しなければならない。ここでも副生ガス利用方法に対して明確なる結論を得たわけではないが、今後も検討しなければならないことは次のようなことであると考えられる。

(1) エネルギー情勢の変化に対して適応力を持ったエネルギー供給システムを作ること。

(2) 発熱量の低い安価な燃料ガスを効率よく燃焼するための技術およびガスの付加価値を高めるための技術開発等。

5.2 エネルギー需給調整

モデル製鉄所における余剰エネルギー利用方法として直接燃料および化学原料源として利用する場合と、電力および蒸気に転換して、地域へ供給する場合とが考えられるが、余剰エネルギーの発生は、製鉄所の操業条件によつて大きく変化する。反面、エネルギーを外販することになると、安定して一定量を供給することが要求されるので、これらの利用は、その需給調整も併せて検討しなければならない。

5.2.1 余剰ガス需給調整

ガスの需給調整は、変動の周期により、時間、日～週間、月間～それ以上、の単位に分けられる。これらの需給調整法は以下のようなになる。

(1) 時間単位：ガスホルダー、ボイラーでの燃料切

り替え

(2) 日～週間：燃料の切り替え (ボイラー以外での)、各工場の休工日の割付

(3) 月間～それ以上：操業条件、生産計画の調整

しかし、これらの調整によつても、変動は吸収しきれないため、その最終的な調整をいかに行うかが課題として残る。例えば、大きな変動要素として高炉の1基休風、あるいは、熱延定休等が考えられ、その変動幅は、通常操業に対して約 20% もある。いずれの利用においても、ガス変動を吸収する調整機能が必要となる。図 10 はこの機能を発電ボイラーに持たせた2つのケースである。この場合、調整用補助燃料が共に必要となる。

5.2.2 電力需給調整

4章のモデル製鉄所限界ベースで検討された電力バランスでは、副生ガスおよび排エネルギー回収により、261.5×10⁶ kWh/月の自家発電が可能であり、総消費電力 225.5×10⁶ kWh/月 に対して、電力換算で 36×10⁶ kWh/月 (13.8%) の余剰エネルギーとなる。しかし、実際には、月間バランスでなく、時間的なバランスを考える必要があり、それを検討すると、図 11 に示すような関係となる。すなわち、製鉄所消費電力 225.5×10⁶

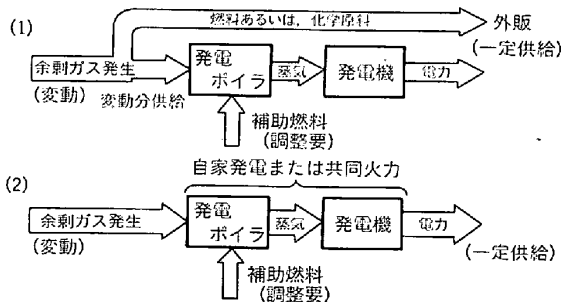


図 10 発電ボイラーによる余剰ガスの調整方法

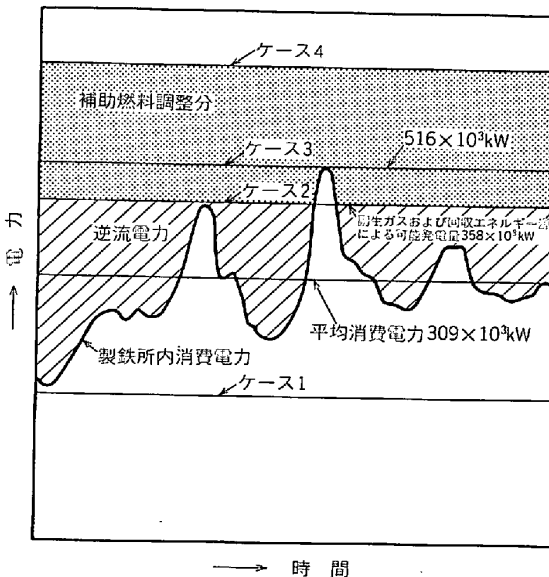


図 11 製鉄所の電力需給モデル

kWh/月の平均消費電力は、 309×10^3 kW となるが、消費電力のピークは、 516×10^3 kW であり、少なくともこれ以上の発電量がないとピークをカバーできない。が一方副生ガスおよび排エネルギー回収で 358×10^3 kW の発電量しかなく、ピーク時これを吸収するためには、発電ボイラーで補助燃料による調整が必要となる。このための電力需給モデルとしては図 11 に示すように4つのケースが考えられる。各ケースについて検討すると、

ケース1は、あるベースまで自家発電とし、電力変動分を買電で賄う。ただし、相当量の余剰エネルギーが生ずるので、ガス外販等の対策が必要となる。

ケース2は、余剰エネルギー全量、自家発電する場合で、余剰ガスはないが、ピーク時は買電が必要であり、一方低負荷時は、外部への電力の逆流が発生する。

ケース3は、ピーク時まで、自家発電とし、買電の必要がないが、更に逆流が大きくなる。

ケース4は、ピーク時以上まで自家発電とし、余分な電力は、一定量外販することができる。この場合は、補助燃料が多く必要である。

上記のどのケースを採用するかとなると、先に検討した余剰ガス需給調整も考慮し、ケース4が現実的と考えられるが、いずれにしる需給調整のためには、最少限の補助燃料が必要であろう。なお電力需給調整のため製鉄所内の消費電力を平均化することが望ましく、圧延機の負荷調整・圧延工場の休日割付・製品でのエネルギー貯蔵（電気炉による合金鉄の製造、酸素工場における液体酸素の製造）等が、その対策となる。

5.3 動力設備と排エネルギー回収利用のあり方

更に動力設備と排エネルギー回収利用のあり方について2～3の検討を行った。

5.3.1 動力設備のエネルギー転換効率の向上

動力設備は、副生ガスを電力・蒸気に、電力を圧空・酸素等に転換、供給するものであり、これらの動力設備で転換されるエネルギーは製鉄所全使用エネルギーの30%を越える。このため、動力設備の転換効率は、製鉄所のエネルギー効率の優劣に大きな影響を与え、中でも発電設備のあり方は、効率のみならず、副生ガスの完全利用という面からも大きな課題となる。他のエネルギー使用設備も同様であるが、特に発電設備の場合、エネルギー価格の高騰により、経済設計ミニマム点が引き下がり、効率重視のプロセス設計ができるようになった。例えば、従来75 MW以下の中規模火力発電設備に多く採用されてきた4段抽気、再生サイクル、空気予熱のみのヒートレートは2638 kcal/kWh(発電給合効率32.6%)であったのに対し、5段抽気、再熱再生サイクル、空気予熱および燃料ガス予熱併用の設備を採用した場合、そのヒートレートは、2299 kcal/kWh(37.4%)となり、13%の大幅な効率向上となる。ちなみに、モデル製鉄所限界ベースのガスバランスにおいて、いずれの方式を採用

するかで発電可能量は 27×10^6 kWh/月もの差があり、この量はコークス炉での全炉 CDQ 設置以上の省エネルギー効果をもたらすことになる。

5.3.2 排エネルギーの回収と有効利用法

排エネルギーの回収に当たっては、まず第一にインプットエネルギーを減らすべきであり、発生する排熱は燃焼用空気、燃料ガスの予熱等自己還元型の熱利用を行うことである。しかしこれらのステップを踏んだ後なお発生する排エネルギーについては、他のプロセスの有効エネルギーとして回収することになるが、この場合の回収の優先は、

- ①予熱、乾燥熱源として利用
- ②蒸気として利用
- ③電力として利用

の順序で転換利用することが回収効率、投資効率の面から効率的と言えよう。モデル製鉄所限界ベースでは、蒸気-電力回収を行ったが、これらの排熱回収を効率よくかつ回収エネルギーを有効に利用するには、

- (1) どの排熱からプロセス蒸気を、またどの排熱から電力を回収するのが最も効率的かの決定
- (2) 最も回収効率を高めるシステムと蒸気条件の選択
- (3) 今後のプロセス蒸気需要の変化と排熱発生の変化への対応策

等の検討が必要であり、発電設備も含めた総合的なシステム作りが要求される。

以上、エネルギー需給調整の課題に対する具体的方法の検討結果を述べてきたが、その結論を要約すると、「個々のエネルギー設備の高効率化あるいは、燃料ガス発熱量の選択という基本的な課題の検討も必要であるが、今後、重要なことは、いかにコストミニマムとなるエネルギー供給システムを作るかということであり、また、このシステムはエネルギー情勢の変化に即応可能なものでなければならない。」といえよう。

6. 結 言

以上、製鉄所の省エネルギーの限界と、エネルギー構造の変化、ならびにそれらに伴う新たな課題について述べた。現在、鉄鋼業の省エネルギーは一つの転換期に差しかかっている。昭和49年より54～55年頃までは、個々の省エネルギー項目を実施していっただけでよかつたが、オイルレス製鉄所の実現という当面の目標をほぼ達成した段階では、絶えずその時点でのエネルギーバランスを考慮しつつ進めなければならないということである。つまり、その製鉄所の窮極のエネルギー使用のあり方を描きながら、省エネルギー、あるいはエネルギー転換を推進し、しかもこれらに伴って生じてくるエネルギー需給調整という課題にとり組まなければならない、ということである。

本稿は、粗鋼 800 万 t の製鉄所をモデルとして、省エネルギーと、エネルギー構造の変化について、具体例を示し、まとめたものであるが、各社の今後の省エネルギー対策の推進に大いに役立つものと思われる。

本文作成にあたり、研究小委員会メンバーの中から、以下の各位に執筆分担を願った。深く感謝し、氏名を掲げる次第である。

(分担)	(会社名)	(氏名)
コークス	日本鋼管(株)	佐田哲男
製鉄	新日本製鉄(株)	中川 侃
製鋼	日本鋼管(株)	滝内敏昭
分塊	住友金属工業(株)	合野定彦
圧延	川崎製鉄(株)	篠原虔章

エネルギーバランス	(株)神戸製鋼所	小堺和泉
エネルギー需給調整	川崎製鉄(株)	篠原虔章
同 上	日新製鋼(株)	面田和利
同 上	(株)神戸製鋼所	樋渡健明
まとめ	住友金属工業(株)	二口 隆

文 献

- 1) 日本鉄鋼協会共同研究会熱経済技術部会省エネルギー研究小委員会：一貫製鉄所における省エネルギー限界の考察とエネルギー構造の将来像(1980. 11) (私信)
- 2) A. RIST, M. MEYSOON: Revue de Métallurgie (1965), p. 99