

圧延工程における省エネルギー*

陣 野 友 久**

Energy Saving in Rolling Processes

Tomohisa JINNO

1. ま え が き

鉄鋼一貫製鉄所において、鉄鋼製造に要するエネルギーは、粗鋼を基準にすると、およそ $6400 \times 10^3 \text{ kcal/t}$ である。その70%が製鉄工程で消費され、圧延工程(分塊工程を除く)では、およそ14%程度が消費される(図1²⁾)。ただし、圧延工程は各事業所の製品構成によつて、工程および設備が異なるため、エネルギーの使用割合、およびその構成などは画一的に論ずることはできない。

一般に圧延工程としては、熱延、冷延、および厚板工程が主体となつていますが、事業所によつて、形鋼、鋼管線材などの工程が加わつたり、または特定の工程を主体としている事業所など、それぞれ特徴がある。

圧延工程は、このように各種の工程で構成されているが、いずれの工程も、基本的には、加熱—圧延・加工の工程に集約されるので、以下の圧延工程における省エネルギーに関しては、加熱—圧延・加工—冷延工程を主体に工程のエネルギーフローと省エネルギーについての着目点および現在までに実施された省エネルギー項目とその効果、今後の方向などについての概要を報告する。

2. 圧延工程におけるエネルギー使用状況と損失内容

2.1 一貫製鉄所のエネルギー構造と工程別使用状況

一貫製鉄所のエネルギー使用量は、コークス製造部門を含めておよそ粗鋼トン当り $6400 \times 10^3 \text{ kcal/t}$ であるがそのエネルギー構造は、図1に、一例を示したごとく、使用エネルギー(購入エネルギー)の74.1%が石炭・コークス、11.5%が重油類、14.9%が電力となつており鉄鋼業の使用エネルギーの大部分は、石炭系である。

これら購入エネルギーは、製鉄所の各製造工程を経ながら図2に示すようなエネルギー転換を経て各熱設備へ供給され、非常に有機的に、かつ、有効に利用されている。

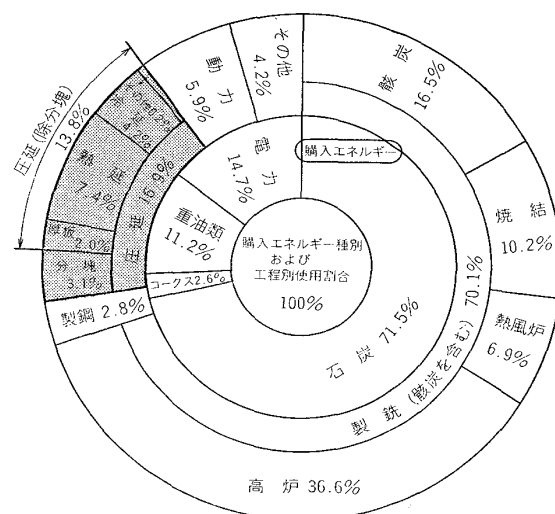


図1 購入エネルギー種別割合と工程別使用割合

各工程別のエネルギー使用割合は、製鉄工程(熱風炉+製鉄)、製鋼・分塊、圧延、動力、その他について、それぞれ、70.1%、5.9%、13.8%、5.9%、4.2%であり、圧延工程(分塊を除く)の全使用エネルギーに占める割合は、約14%である(図1²⁾)。

次に、圧延工程のエネルギー構成をみると、その1例を図3⁴⁾に示すように、圧延鋼材の加熱用燃料が57.5%、圧延加工用電力が38.6%、その他3.9%となつており、加熱用燃料と圧延用の電力が主体となつていす。すなわち、圧延工程の省エネルギーは、加熱工程と圧延用電力の省エネルギーが主体となり、それぞれ個々の省エネルギー対策と、両者の総合的なエネルギーミニマムとしての操業条件の設定などが重要な課題である。その他の個々の設備に関しても、最適操業、炉および設備の効率向上、損失熱の防止、排エネルギーの回収など、きめ細かな基本的対策と同時に、工程の直結、省略、連続化など総合的なプロセスの見直しが省エネルギー対策の決め手となる。

* 昭和53年5月4日受付 (Received May 4, 1978) (依頼技術資料)

** 川崎製鉄(株) (Kawasaki Steel Corp., 1-4-28 Mita Minato-ku Tokyo 108)

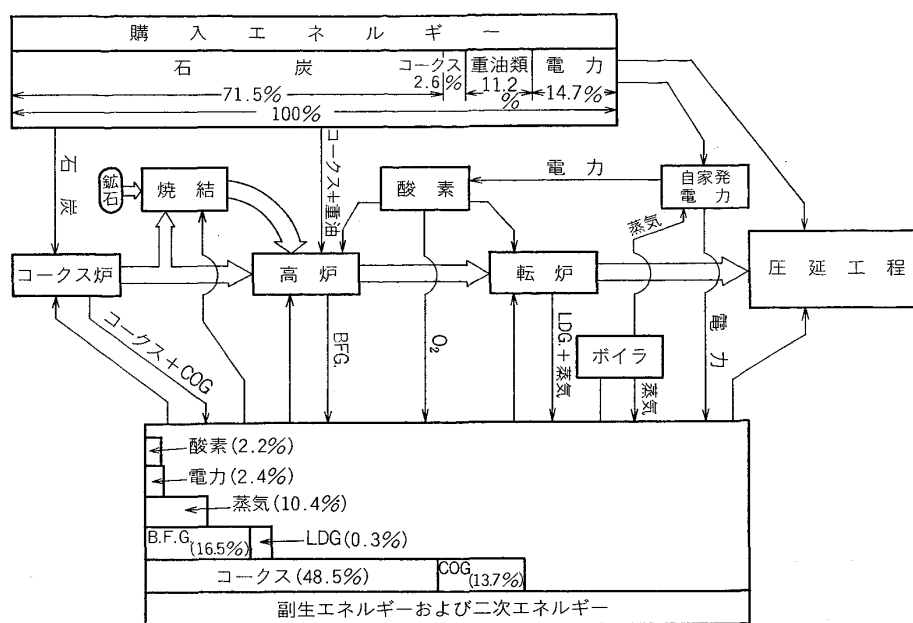


図 2 製鉄所におけるエネルギー転換フロー

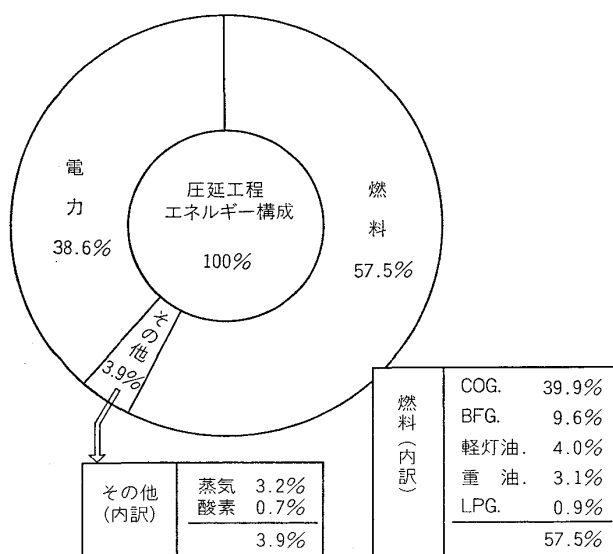


図 3 圧延工程 (除分塊) のエネルギー構成例

さらに、圧延工程の中でエネルギー使用割合の多い、熱延、厚板および冷延工程のエネルギー構成例⁵⁾を、それぞれ図 4、図 5、図 6 に示した。

熱延、厚板工程では、加熱炉用燃料(68.5%, 68.4%)と圧延加工用電力(31%, 25.8%)とが主要エネルギーである。冷延工程では、冷間圧延および焼鈍炉用電力が 57.9% と主要で、ついで焼鈍用燃料が、32.8%, 酸洗・洗浄用蒸気が 9.3% となっている。

2.2 圧延工程の熱流れと設備別エネルギーの使用・損失内容

2.2.1 圧延工程の熱流れの概要

転炉で精錬された溶鋼は、連続鑄造工程、または、分

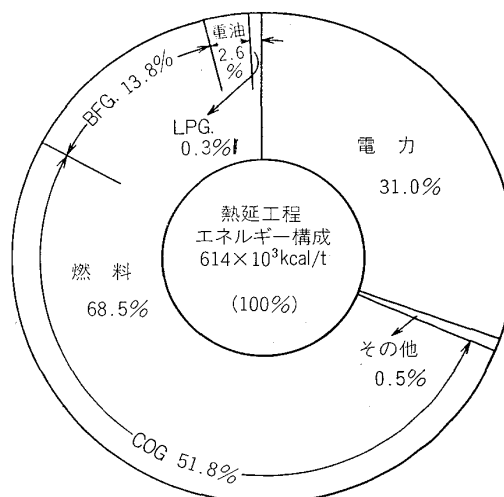


図 4 熱延工程のエネルギー構成例

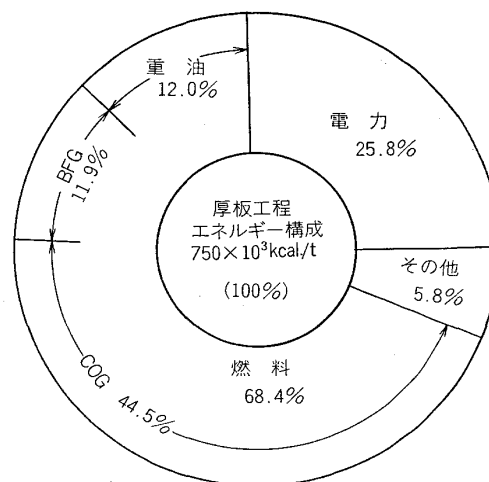


図 5 厚板工程のエネルギー構成例

塊圧延工程をへて鋼片となり、いつたん冷却され、検査表面疵の手入がおこなわれる。その後、加熱炉で再加熱され、圧延されて帯鋼、厚板、形鋼などの製品となる。

次いで冷延工程に入るものは、酸洗工程をへて、冷間圧延され焼鈍工程をへて冷延鋼板となる。

さらにその一部は、メッキ工程で、亜鉛、クロム、スズメッキなどが行なわれる。

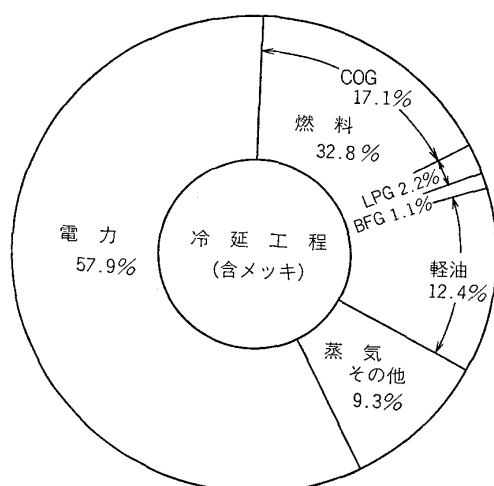


図6 冷延工程のエネルギー構成例

これら製鉄所における主要工程を図7に示し、各プロセスのエネルギー使用量と成品顕熱および温度経過の概要を図8に示した。

圧延工程を熱流れの上からみると、まず前工程の連铸分塊工程から圧延工程への製品の受け渡しにおいて、製鉄、製鋼工程から受け渡しされてきた顕熱と分塊工程で投入された熱エネルギーを保有している鋼片は、検査・手入れのために、常温まで冷却され、その顕熱は、すべて捨てられていた。この顕熱の有効利用、または回収が省エネルギー対策の大きな課題となつた。

次に、圧延工程そのものが、加熱、圧延加工、冷却工程の組合わせと繰返しであり、この間に投入されるエネルギーも、その都度、成品顕熱、排ガス顕熱、冷却時の放散熱や冷却水顕熱、および圧延加工時の機械的エネルギーとして消費されている。

特に、圧延工程で使用されるエネルギーの60%近くを占める加熱工程の熱効率は低く、高々50%前後であり、熱風炉、ボイラなど他工程の熱設備の熱効率(70~90%)に比べて、かなり低いものである。

したがって圧延工程での省エネルギー対策は、加熱工程の効率化が主体であり、非常にキメ細かく、多岐にわたる対策項目があげられ、進められている。

その他、圧延加工時の電力使用量の削減および冷延工

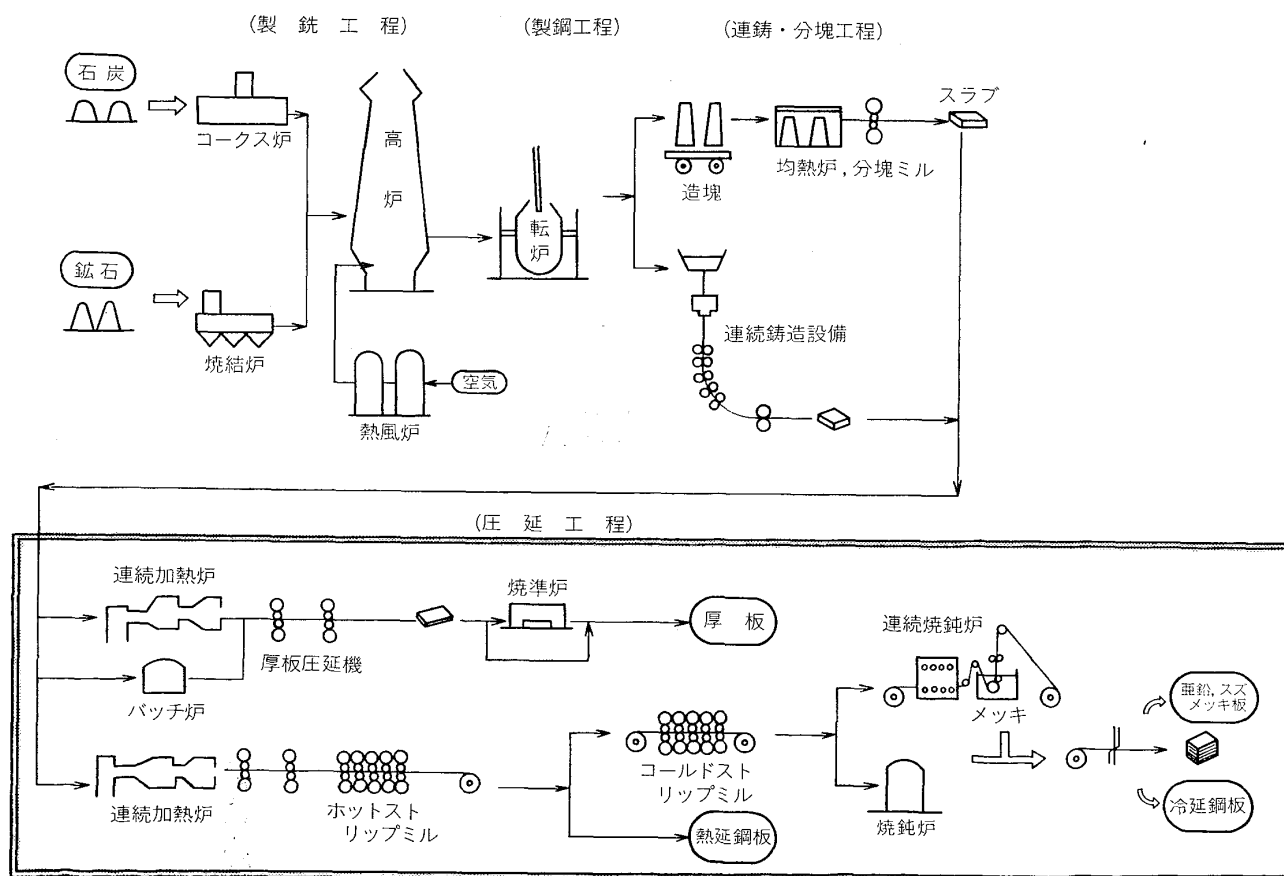


図7 製鉄所の主要プロセス概要

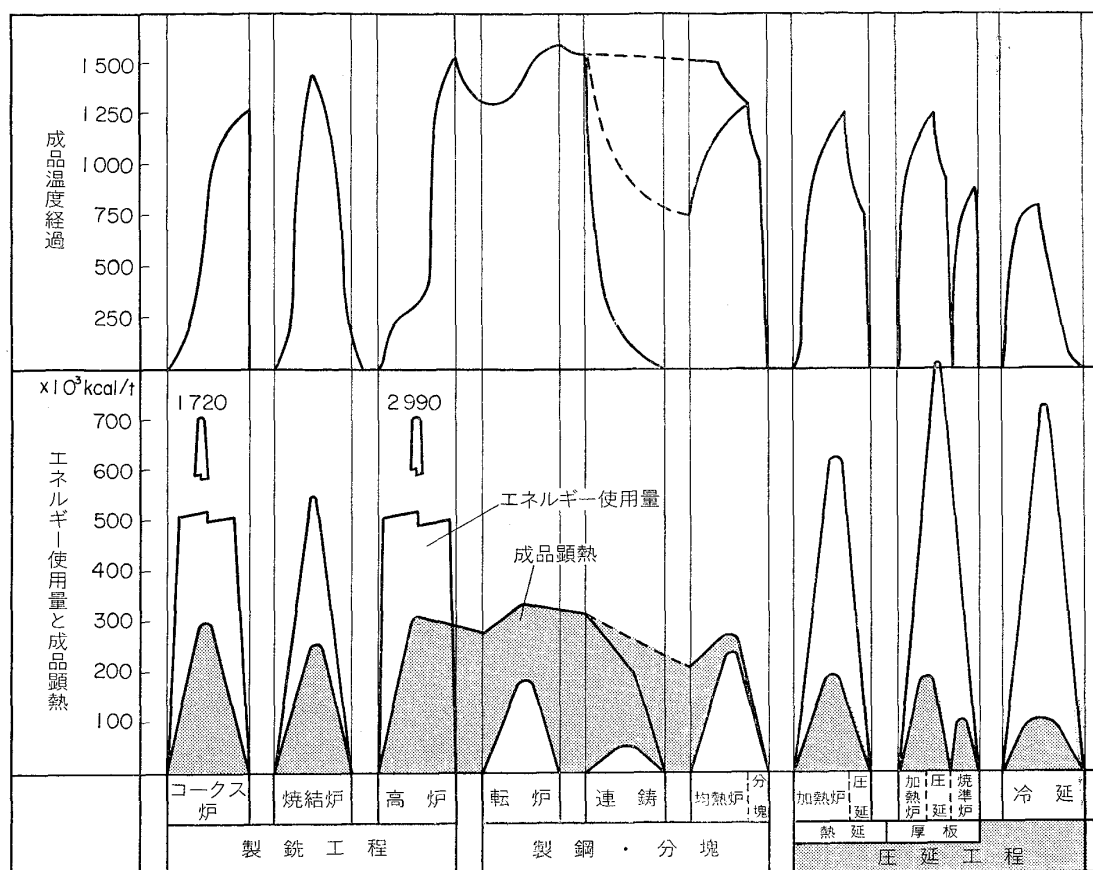


図 8 製鉄所主要プロセスのエネルギー使用量と成品顕熱および温度経過概要

表 1 熱延加熱炉の熱勘定例

入 熱			出 熱		
項 目	$\times 10^3 \text{kcal/t}$	%	項 目	$\times 10^3 \text{kcal/t}$	%
燃 料 の 燃 焼 熱	462.1	90.5	抽 出 鋼 材 ・ 顕 熱	206.8	40.5
〃 顕 熱	0.6	0.2	ス ケ ール 顕 熱	5.5	1.1
霧 化 剤 の 顕 熱	27.7	5.4	排 ガ ス 顕 熱	195.0	38.2
ス ケ ール 生 成 熱	20.0	3.9	冷 却 水 顕 熱	65.0	12.7
			炉 体 放 散 熱 ・ そ の 他	38.1	7.5
(燃 焼 空 気 顕 熱)	(51.1)	(10.0)	(回 収 熱)	(51.1)	(10.0)
合 計	510.4	100	合 計	510.4	100

程材の酸洗，電解清浄工程における蒸気使用量の削減などが，圧延工程における省エネルギー対策対象項目である。

2.2.2 加熱炉などの熱流れの概要

圧延工程の主要エネルギー消費設備である加熱炉の省エネルギー対策を検討するためには，加熱炉自体のエネルギー使用状況と損失内容を十分把握することが重要で

ある。加熱炉の熱流れの例⁶⁾として，熱延加熱炉，およびバッチ式焼鈍炉の熱勘定例を表 1, 2 に示す。

これによると，加熱炉の熱効率は 40～50% 程度であり，損失熱としては，排ガス顕熱，冷却水顕熱，炉体放散熱で，その合計は 50～60% を占め，中でも排ガス顕熱がおよそ 30～40% と非常に大きい。

焼鈍炉の場合は，加熱炉のように，次工程の圧延加工

表2 バッチ式焼鈍炉の熱勘定例

入 熱			出 熱		
項 目	×10 ³ kcal/t	%	項 目	×10 ³ kcal/t	%
燃 料 燃 焼 熱	376.3	100	コ イ ル の 顕 熱	14.4	3.8
			排 ガ ス 顕 熱	132.6	35.2
			空 冷 放 散	29.9	8.0
			冷 却 水 顕 熱	76.0	20.2
			炉 体 放 熱 ・ そ の 他	123.4	32.8
合 計	376.3	100	合 計	376.3	100

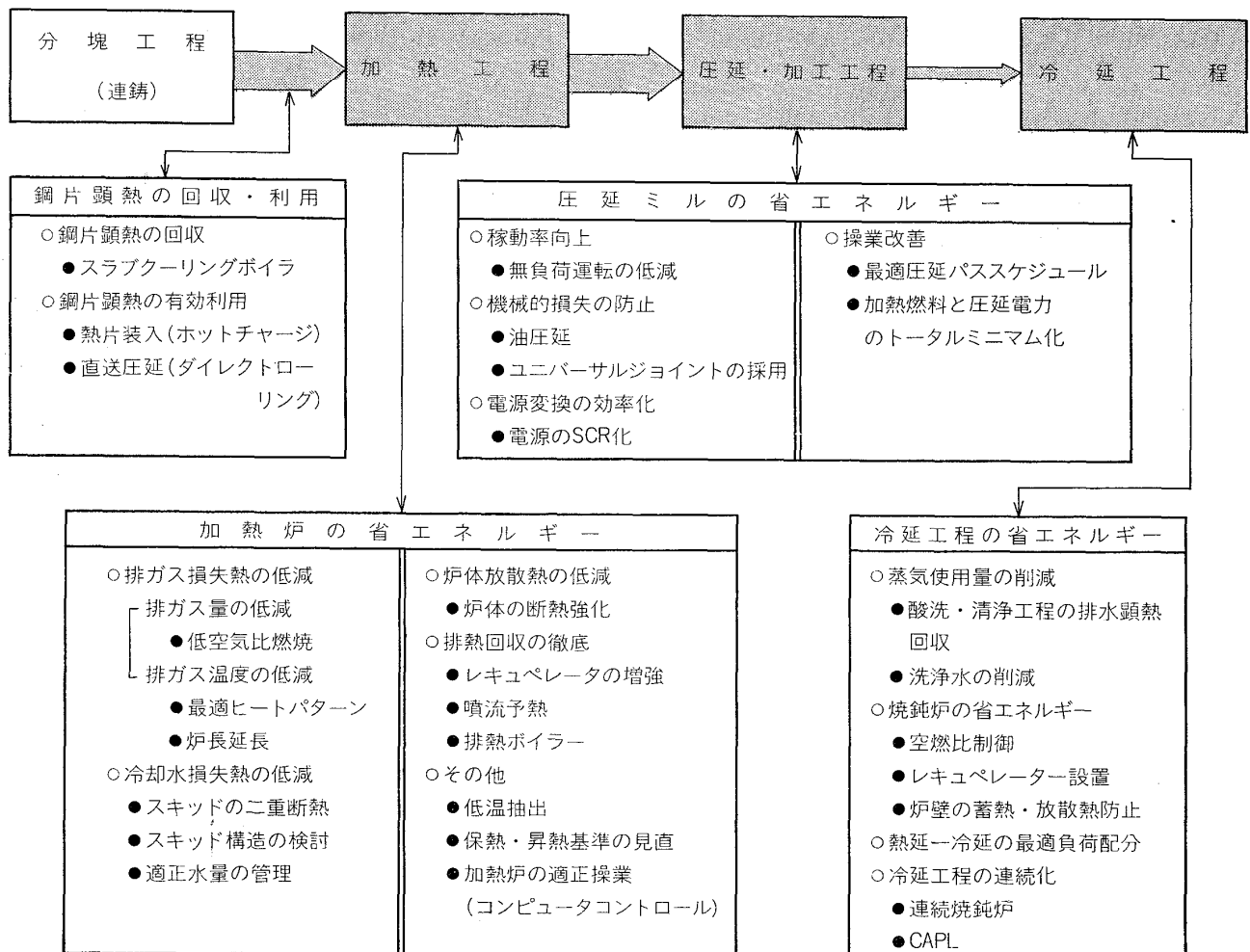


図9 圧延工程の省エネルギー対策項目

に適した温度で抽出するのではなく、熱処理条件に適した温度履歴が重要で、加熱-均熱-冷却がサイクルとして操業される。したがって、バッチ炉の場合は、特に損失熱として、排ガス顕熱の他に、炉体の蓄熱、放散熱による損失および冷却時の放熱が大きな割合を占める。

3. 圧延工程における省エネルギー対策

工場や工程全体の省エネルギーは、大きくわけて、次の3つの観点から進める必要がある。

(1) 各プロセスの効率化とトータルエネルギー効率の向上

各プロセスの操業基準の見直し、燃焼管理の強化、ロスタイムの低減などの最適管理技術の確立と設備の改良による熱効率、能率、歩留、品質の向上、および各プロセスの特性を十分把握して、プロセス間の適正負荷配分によるトータルエネルギー効率の向上をはかる。

(2) 排熱、排エネルギーの低減と回収の徹底

現在損失となっている成品および副産物の顕熱、排ガス顕熱、冷却水顕熱、炉体放散などの低減と回収の徹底をはかる。

(3) 省エネルギー技術の開発、新プロセスの導入

新技術の開発によるプロセスの直結、省略、連続化、および新プロセスの導入により、エネルギーの有効利用を積極的に推進する。

圧延工程においても、以上の観点から各種の省エネルギー対策が進められており、図9に各プロセスごとの省エネルギー対策項目例を示した。

以下に、これら省エネルギー対策の実施例について、その概要を示す。

3.1 鋼片顕熱の回収および有効利用

連铸・分塊工程からの鋼片は、従来、いつたん冷却され、検査手入れの後、加熱炉で再加熱されて次工程へ送られていた。

分塊圧延後の鋼片温度は、連铸後で $700 \sim 1000^{\circ}\text{C}$ 、分塊圧延後で $900 \sim 1100^{\circ}\text{C}$ 程度あり、この顕熱を回収または、有効に活用することは、圧延工程の省エネルギー上、大きな効果となる。対策としては、顕熱回収装置として、スラブクーリングボイラ、顕熱の有効利用として、熱片装入、直送圧延の操業技術などが開発され、顕熱の回収、プロセスの直結、省略、連続化といった観点から注目されている代表的な省エネルギー技術である。

3.1.1 スラブクーリングボイラ (Slab Cooling Boiler)

分塊圧延後のスラブ顕熱を蒸気として、回収する方法で、装置は図10に示すようにボイラ部(水管壁伝熱面)ボイラ内でスラブを搬送するウォーキングビームおよび装入、抽出装置から成っている設備仕様の概要を表3に

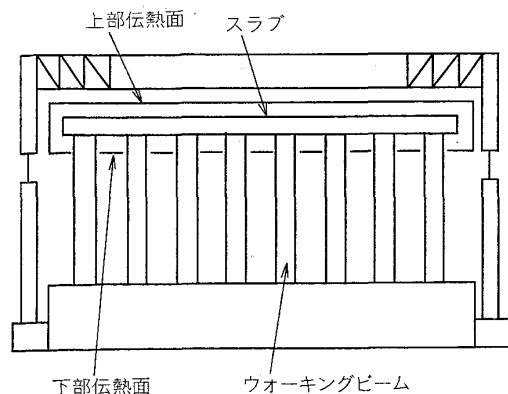


図10 スラブクーリングボイラ構造図

示した。

SCBのレイアウトおよびスラブの流れは、図11に示すとおり、分塊圧延後、冷却ヤードへ入ったスラブはNo.1 SCBに入り、次にUターンしてNo.2 SCBを通り、浸水式スラブクーラを経て、手入れヤードへ搬送される。

SCBに装入されるスラブの量とボイラの蒸発量との関係を図12に示した。平均的な運転条件(スラブ装入量 400 t/h)では、No.1 SCB入口で平均 1060°C のスラブはNo.2 SCB出口 550°C でまで冷却され、そ

表3 設備仕様概要

スラブ処理量	max. 1000 t/h
スラブ入口温度	表面 $850 \sim 950^{\circ}\text{C}$ 中心 1150°C
蒸発量	max. 70 t/h ($16 \text{ kg/cm}^2\text{G}$ 飽和蒸気)
SCB寸法	長さ $\text{mm} \times$ 幅 $\text{mm} \times$ 高さ mm
No.1 SCB	$27000 \times 13000 \times 6400$
No.2 SCB	$26000 \times 13000 \times 6400$
全伝熱面積	約 3000 m^2

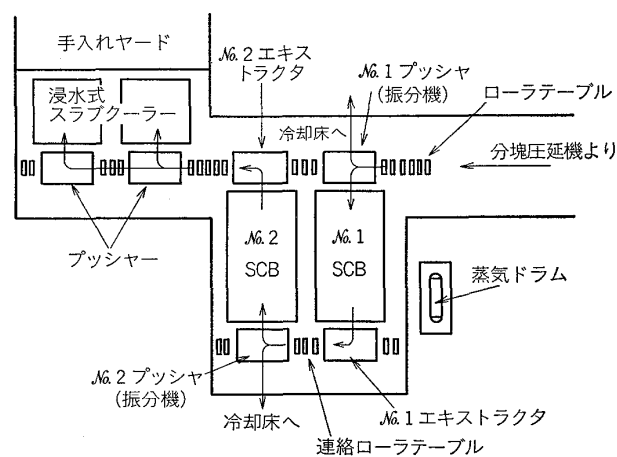


図11 SCBレイアウトおよびスラブ流れ

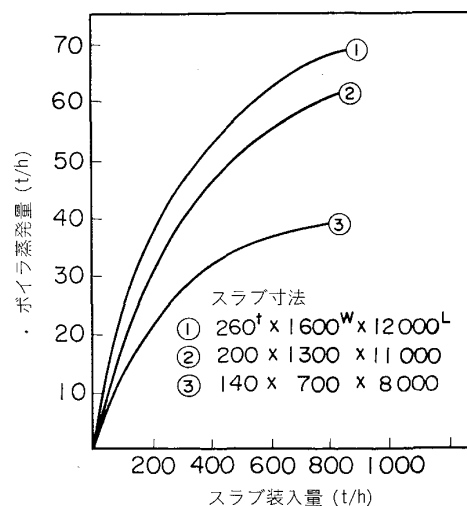


図12 スラブ装入量とボイラ蒸発量

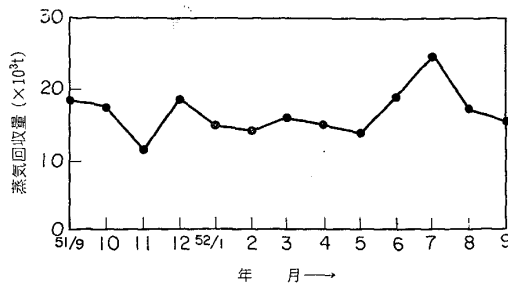


図 13 S C B 蒸気回収実績

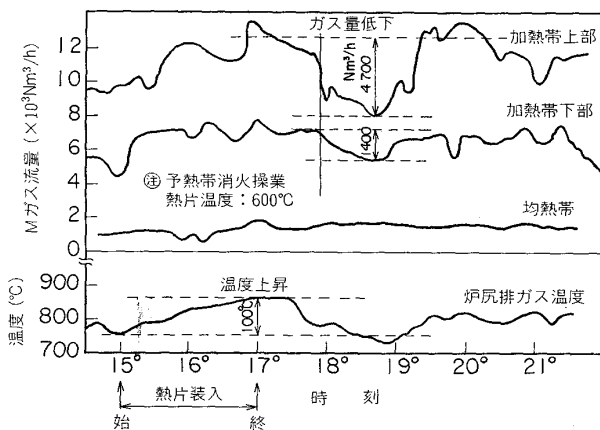


図 14 熱片装入作業時の炉況変化

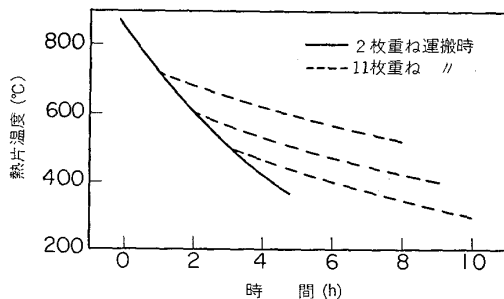


図 15 連铸スラブ運搬時の温度降下

の結果、 40 t/h ($48 \times 10^3 \text{ kcal/t-slab}$) の蒸気を回収することができる。

図 13 に S C B の蒸気回収実績を示した。

3.1.2 熱片装入 (Hot Charge)

連铸・分塊圧延後の鋼片顕熱を有効に活用し、加熱炉の燃料原単位を削減する方法として、加熱炉への熱片装入が、積極的に実施され始めた。

熱片装入法としては、①連铸熱片の直接装入、②分塊圧延熱片の直接装入、③分塊圧延熱片と手入れ済み冷片との熱交換による予熱鋼片、などがある。

従来、あまり実施されなかつた理由としては、冷間手入れの省略による製品品質上の問題と、前後工程のバッファとしての冷間手入れ工程がなくなることによる工程管理の困難さなどがあつた。その後、これらの点について、製鋼-連铸・分塊-圧延間にわたる品質上の疵発生

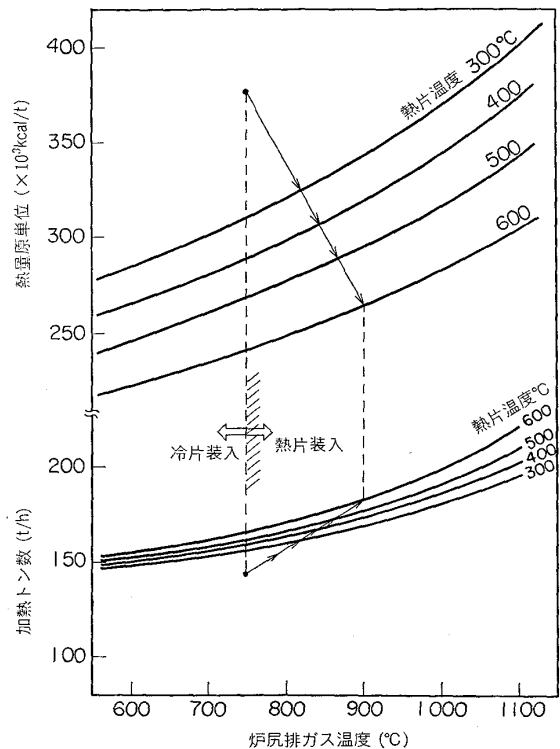


図 16 熱片装入温度と熱量原単位 (計算例)

防止技術と工程管理の向上により、大巾に熱片装入および直送圧延が実施されてきた。

しかし、完全に冷間手入れを省略することのむづかしい高級品種材があり、これらと熱片装入対象材を分け、ロットを集約化して、熱片装入を実施する方法が行なわれている。

図 14⁸⁾ に川鉄千葉の熱延加熱炉で実施されている連铸熱片の熱片装入時の加熱炉操業変化を示した。

加熱炉は低負荷操業時で予熱帯の消火操業を行なつていた。熱片の装入量は、予熱帯や加熱帯のゾーン長さをカバーできる量として熱片 12 枚 (約 10 m) を連続装入したものである。装入時の熱片温度は、平均 600°C であつた。

熱片装入時の加熱炉の操業変化としては、熱片が予熱帯に装入された 15 時頃から排ガス温度が徐々に上昇し始め、完全に予熱帯をカバーした 17 時頃に約 100°C 上昇して飽和した。

M ガス流量に関しては、熱片が加熱帯をカバーした 18 時～19 時頃に上部で $4700 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 、下部で $1400 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 程度の減少があつた。これらのデータから 600°C 熱片装入による加熱炉の燃料節減は、およそ $110 \times 10^3 \text{ kcal/t}$ 程度となつた。

実際の操業においては、加熱炉に装入される熱片の温度は、連铸・分塊圧延後の熱片の搬送時間の長短によってかなり異なってくる。図 15⁹⁾ に連铸スラブの搬送方法と、搬送時の温度降下の計算例を示した。

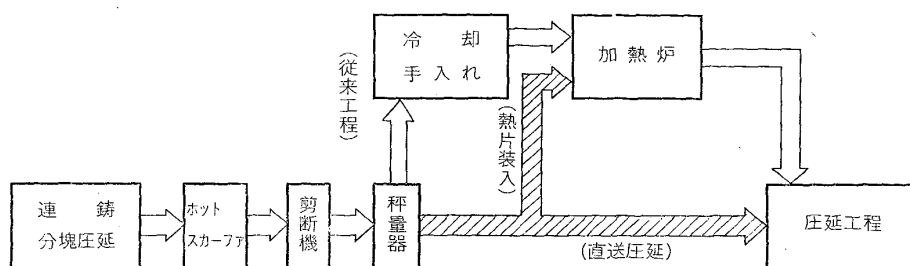


図 17 熱片装入および直送圧延の概念図

したがって、熱片装入時の熱量原単位は、装入温度によつて異なるため、その一例を図 16¹⁰⁾ に示した。これより、 $300\sim 600^{\circ}\text{C}$ の熱片装入の場合およそ $50\times 10^3\text{kcal/t}\sim 110\times 10^3\text{kcal/t}$ の熱量原単位を削減できる。

3.1.3 直送圧延 (Direct Rolling)

直送圧延は、鋼片の顕熱利用方法として、前記の熱片装入よりも、さらに一步進んで、加熱工程も省き、そのまま直接熱間圧延する方法である (図 17)。

直送圧延を行なうには、①熱延用スラブの圧延温度を確保すること、②冷間手入れなしで表面疵を防止できる品質管理、③熱延順序を考慮して、直送材を 1 ロットまとめて製鋼し、分塊-圧延工程に乗せるための、製鋼での適中率の向上、途中工程での不合格品の防止とタイミングのよい工程管理、など総合的な操業技術、管理技術が要求される。

直送圧延の効果としては、まず加熱工程省略による加熱燃料の削減であるが、均熱炉における直送材の過均熱用燃料と直送圧延中の加熱炉保熱用燃料を差引いても、直送材について、 $250\times 10^3\sim 300\times 10^3\text{kcal/t}$ ¹¹⁾ の熱量原単位低減となり、極めて大きな省エネルギーとなる。

一方、圧延電力は多少増加するが、歩留の向上、冷間手入れ工数の削減燃料使用量の削減による NO_x など環境改善などの効果がある。

現在、直送圧延は、一部の品種に限られているが、今後、直送圧延の実施率を拡大するには、熱間における探傷技術と疵取装置の開発、さらに総合的な工程管理システムの向上と直送スラブの両端温度降下防止技術の開発などが必要である。

3.2 加熱炉における省エネルギー

加熱炉には、被加熱材の種類、形状および加熱目的によつて、各種の加熱工程があり、これらに使用されている加熱炉の種類も型式、構造によつて、ゾーン数、スキッドの有無、搬送方式 (回転炉床式、プッシャー式、ウォーキングビーム式)、バーナ型式と設置方法 (軸流バーナ、サイドバーナ、ルーフバーナ) および装入方法などが異なり、千差万別である。

加熱炉の熱量原単位も、その操業方法、操業条件によつて大巾に異なっているが、主要な熱損失の内容については、2.2 項でふれたように、全加熱炉に共通した項目

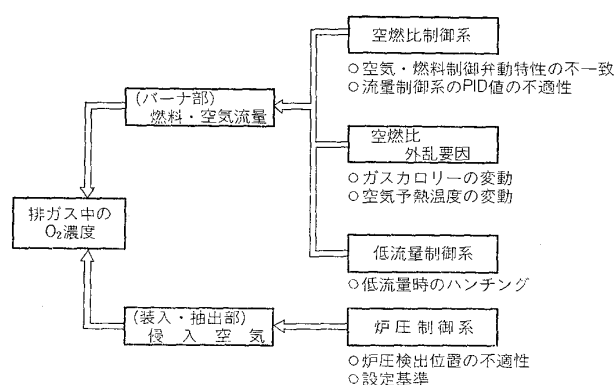


図 18 排ガス中の酸素濃度変動要因

である。したがって、加熱炉の主要な省エネルギー対策項目も図 9 に示したごとく各種損失熱の低減、排熱回収の徹底と操業方法、操業条件の改善などであり、以下にその実施例を示す。

3.2.1 排ガス損失熱の低減

加熱炉の各種損失熱の中で、最も大きな割合を占める排ガス損失熱の低減には、排ガス量の低減と排ガス温度 (炉尻温度) の低減とをはかる必要がある。

前者の対策としては低空気比操業の確立、後者の対策としては、ヒートパターン最適化、炉長延長などがある。

(1) 低空気比操業の確立

低空気比操業とは、燃料をできる限り理論空気量に近い空気量で燃焼させることにより、火炎温度の高温化による伝熱効率の向上と、排ガス量の削減による排ガス損失熱の低減とによつて、総合的に熱効率の向上をはかる操業である。

最近、酸素濃度計 (O_2 メータ) によつて排ガス中の酸素濃度を測定して、空燃比の監視システムや、さらに、空燃比制御系へのフィードバックによる自動空燃比制御システムの導入が活発に行なわれ、低空気比操業の確立による省エネルギー効果がめざましい。

排ガス中の酸素濃度の変動要因を図 18¹²⁾ に示したごとく、排ガス中の酸素濃度をできるかぎり低減化し、かつ安定化して、低空気比操業を確立するためには、燃料・空気の流量制御弁の動特性 (弁の開閉速度と流量特性) の適正化、制御系の PID 値の適正化によるハンチング

の防止、燃料のカロリー変動の防止（カロリー制御の導入）、
 空気予熱温度の変動による流量計の誤差防止（温度補正
 回路の導入）、低流量域における制御系の精度維持また
 はハンチング現象の防止など、空燃比制御系の適正化、
 安定化対策の実施と炉の開口部のシール強化および炉圧
 検出位置、炉圧制御ダンパー特性を含めた炉圧制御系の
 適正化による侵入空気の防止などが最も基本的な省エネ
 ルギー対策として実施すべき事項である。

一般的に排ガス中の $O_2\%$ 変化による熱量原単位への
 影響は次式で計算できる。

$$\Delta H = \left\{ 1 - \frac{H_1 - (1 - \mu) Q_{g1}}{H_1 - (1 - \mu) Q_{g2}} \right\} \times 100 \dots\dots (1)$$

$$Q_{gi} = \left\{ G_0 + \frac{(O_2)_i}{21 - (O_2)_i} \cdot G'_0 \right\} \times C_{pi} \times T_{gi} \dots (2)$$

$$m = 1 + \frac{G'_0}{A_0} \left(\frac{(O_2)_i}{21 - (O_2)_i} \right) \dots\dots\dots (3)$$

ΔH : 熱量原単位の変化率, %

H_1 : 燃料の発熱量, kcal/Nm³ または kcal/kg

μ : レキュペレータの熱回収率

Q_{gi} : 単位燃料当りの排ガス顕熱, kcal/Nm³
 または kcal/kg

G_0 : 理論湿排ガス量, Nm³/Nm³ または Nm³/kg

G'_0 : 理論乾排ガス量, Nm³/Nm³ または Nm³/kg

$(O_2)_i$: 排ガス中の O_2 濃度, %

T_{gi} : 炉尻排ガス温度, °C

C_{pi} : 排ガスの比熱, kcal/Nm³°C

m : 空気比

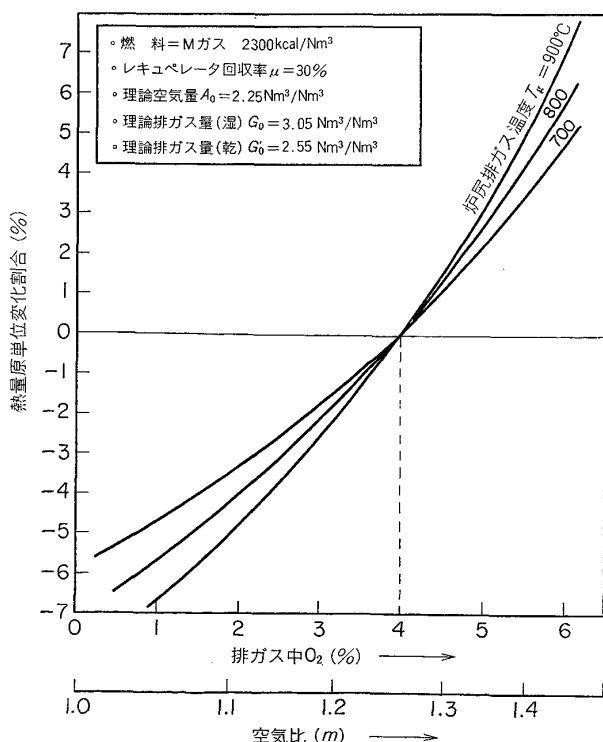


図 19 排ガス中 O_2 濃度と熱量原単位変化割合

低 O_2 操業による効果は、燃料の種類、炉尻排ガス温
 度、低減前の排ガス中の O_2 レベルによって異なるが、
 図 19 に一例として、発熱量 2300 kcal/Nm³ の M ガス
 について、排ガス中の O_2 濃度が 4% を基準とした場合
 の熱量原単位の変化率を示した。同図より、炉尻排ガス
 温度が 900°C のとき、 $O_2=1\%$ 低減すると熱量原単位
 が、およそ 2% 向上する。

現在、 O_2 メータの導入により、排ガス中の O_2 濃度
 を、1% 前後 ($m=1.05$) まで低減できており、熱量原
 単位が、およそ 5.7% 向上した。従来の操業で排ガス温
 度 900°C 程度の場合の熱量原単位が 400×10^3 kcal/t
 であったものが、低 O_2 操業により約 23×10^3 kcal/t 低
 減して、 377×10^3 kcal/t まで向上した¹²⁾。

(2) ヒートパターンの最適化

加熱炉の操業には、長期的、または短期的にかなり大
 巾な加熱負荷の変動が生ずる。

これは、景気や需要の変動による生産量の変化と被加
 熱材そのものに、長さ、厚さ、巾など多種多様の形状が
 あり、これらが一定の圧延スケジュールによつて、加熱
 炉へ装入・抽出されるための短時間的な負荷変動によ
 るものである。

加熱炉を、これら負荷変動に対して効率よく操業する
 には、通常、加熱負荷によつて予熱帯、加熱帯、均熱帯
 各ゾーンの設定温度を調節（基準化）して、鋼材の抽出
 温度と均熱度を維持しながら、炉尻の排ガス温度を最も
 低くできるようなヒートパターンを選定する。

この典型的な例として、最近のように減産による低負
 荷操業時には、設定温度の調節だけでは、最適ヒートパ
 ターンの維持が困難なため予熱帯の燃料を消火して効率
 的な操業を行なっている例¹³⁾を表 4、図 20 に示した。

表 4 には加熱負荷と操業ゾーン数の基準と操業実績に

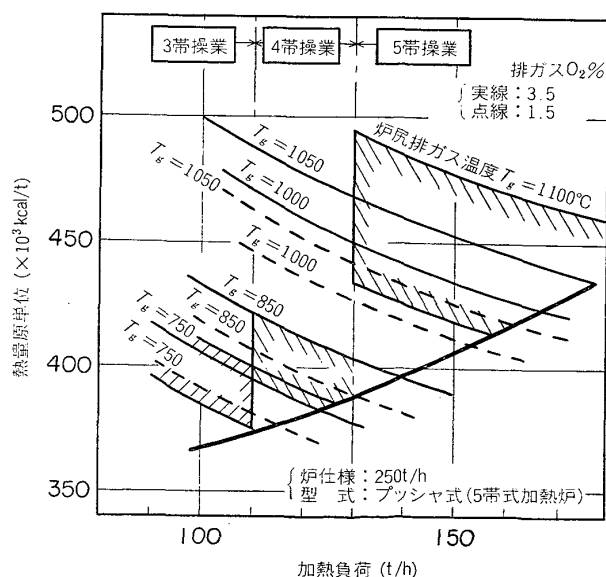


図 20 加熱負荷(t/h)と操業条件による熱量原単位

表 4 操業基準と操業実績

加熱負荷 (t/h)	操業 パターン	消火ゾーン	炉尻排ガス 温度(°C)	平均熱効率 (%)
130 以上	5 帯操業	—	1 000 ~1 100	41.0
110~130	4 帯操業	予熱帯上部	800~950	50.3
110 以下	3 帯操業	予熱帯上・ 下部	670~800	52.9

$$\text{熱効率} = \frac{\text{鋼材顕熱}}{\text{燃料燃焼熱}} \times 100$$

よる炉尻排ガス温度および平均熱効率を示し、図 20 には、排ガス温度と排ガス中の $O_2\%$ をパラメータに加熱負荷と熱量原単位の関係を試算した結果と実績との対応を示したものである。

このように加熱炉操業においては、加熱負荷に対していかに効率よく操業するかということは、いかに最適なヒートパターンを与えるかということである。

しかし、時々刻々変化する抽出速度や、加熱負荷に対して、手動で、常に最適なヒートパターンを与えることは困難であり、どうしても過均熱ぎみの操業となる。

現在、加熱炉操業にも計算機制御の導入が検討されており、計算機によつて加熱炉の最適条件、すなわち、被加熱材の材質圧延条件によつて、最適抽出温度、加熱炉の各ゾーンのそれぞれの加熱負荷変化に対する設定温度の決定など最適なヒートパターンを与えて最も効率的な操業が可能となろう。

(3) 炉長延長

加熱炉の排ガス温度低減化の一つとして炉長延長がある。

現在、各製鉄所に設置されている炉は、経済の高度成長下に増設された加熱炉が多く、生産量の拡大にともなう大容量化、加熱能力の増大を図るため、炉床負荷を、 $800 \sim 900 \text{ kg/m}^2 \text{ h}$ という、非常に高負荷な条件で設計されたものが多い。減産下の操業では、予熱帯の消火など効率化の調節が可能であるが、加熱能力を維持しながら省エネルギー化をはかるには炉長延長も有力な手段である。

炉長延長の効果は、延長部分で排ガスと鋼材との熱交換が進み、鋼材温度が上昇して、炉尻排ガス温度が低下し、その分だけ熱効率が向上する。その効果は、前提条件（設計時の炉長、炉床負荷、炉尻排ガス温度）によつて、多少異なるがおおよその試算結果を図 21 に示した。

すなわち、1 m 炉長延長することにより、鋼材は $25 \sim 30^\circ \text{C}$ 温度上昇し、排ガス温度低減率は約 3% (30°C) 熱量原単位は、 $1.5 \sim 1.8\%$ ($5 \sim 8 \times 10^3 \text{ kcal/t}$) 削減できる。

実際の炉長延長には、この熱量原単位削減の効果と設備投資の関係から最適長さが決定される。

しかし、既設炉の場合、煙道、レキュペレータ、ローラーテーブルなど既設物との関係、スペースの問題など

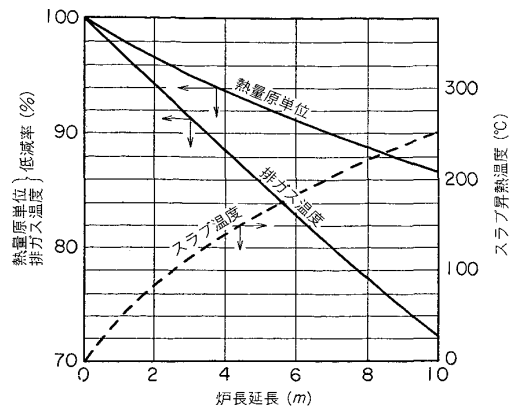


図 21 炉長延長と熱量原単位低減効果

十分検討する必要がある。特に、プッシャー式加熱炉ではスラブのバックリングの問題から、スラブ厚さに対する炉長の限界がある。

最近の大型炉の新設は、ウォーキンビーム炉が主流を占めているので、炉長の制限がなくなり、設計時に、最適炉床負荷に対する最適炉長およびゾーン数や、各ゾーン長さの配分など十分検討され、省エネルギー型の加熱炉が稼動し始めている。

3.2.2 冷却水損失熱の低減

加熱炉における冷却水損失熱の占める割合は、約 10~15% であつた⁶⁾。スキッドパイプは、キャストブルのみで断熱保護されていたこと、および稼動中の脱落などによつて、ますます損失熱が増加していた。

特にウォーキングビーム炉は、スキッドの構造上、冷却水損失熱の大きいことが、熱量原単位を悪化させる最大の欠点といわれていた。

これに対して、最近のセラミックファイバーの普及および断熱材脱落防止のための施工技術の進歩などにより二重断熱などの断熱強化対策が実施され、冷却水損失熱は、20~40% も低減され¹⁴⁾、好成績をあげている。

その他、スキッド構造の改善として、スキッド、クロス、ポストなどの大型化により本数の低減、振動の防止などによる、水量の低減と脱落防止など各種の省エネルギー対策が実施されている。

3.2.3 炉体放散熱の低減

加熱炉における炉体放散熱も、排ガス損失熱、冷却水損失熱と並ぶ主要な損失熱であり、熱量原単位の約 6~10% を占めている⁶⁾。

従来、炉壁構造は、耐火レンガ、耐火断熱レンガ構造のものが主体となつていたが、プラスチックレンガやセラミックファイバーなどが利用されるようになり、炉体放散熱防止や、蓄熱損失を減少させるための各種の施工方法が実施されている。

連続的に稼動している炉の場合の放散熱減少には炉壁外面にセラミックファイバーウールを 20~50 mm 張ることによつて、放散熱を 20~30% 低減することができ

る¹⁵⁾。

一方、休止や設定温度の変更などにより炉温の変化が大きい炉は、炉壁の蓄熱損失を減少させるために、熱容量の小さいセラミックファイバーを炉壁内面に張ることによって、昇熱時間の短縮と合わせて省エネルギーの効果が著しく向上する。

3.2.4 排熱回収の徹底

加熱炉における主要な損失熱としての排ガス顕熱、冷却水損失熱、および炉体放散熱について、前項までに、それらの低減対策について概要を示したが、なかでも排ガス顕熱については、ヒートパターンの改善など積極的な効率化対策を行なっても、炉内温度は、なお 700°C 以上の加熱炉が大半を占めている。

この排ガス顕熱の回収装置として、通常、燃焼用空気予熱レキュペレータが設置されている。

レキュペレータによる排熱回収の効果として、回収熱に相当する投入燃料の削減が可能となるが、さらに燃料の燃焼火炎温度の上昇による伝熱効率の向上と、燃料削減に対応する排ガスの低減による排ガス損失熱の減少など省エネルギー効果は大きい。一方、Mガス（高炉ガスとコークス炉ガスの混合ガス）燃焼の炉において、火炎温度上昇による NO_x 発生量の増加を防止するには、火炎温度上昇分に相当する高カロリーガスのコークス炉ガス混合率を低減でき、コークス炉ガスのガスバランス上の供給調整の余裕がでるなどのメリットもある。

以下に排熱回収の強化としての空気レキュペレータの増強例、Mガス予熱レキュペレータ設置例およびレキュペレータ後の排ガス顕熱の回収装置としての排ガス噴流予熱装置についての概要を示す。

(1) レキュペレータの増強

既設レキュペレータを増強して、排熱の回収率を高め

表 5 レキュペレータ仕様

	増設前	増設後	
	(既設レキュペレータ)	(増設レキュペレータ)	(既設レキュペレータ) 計
種類	メタリック	同左	同左
型式	対流型多管式フィン付	同左	同左
伝熱面積	1 001m ²	286m ²	1 001m ² 1 287m ²
レキュペ入口排ガス温度	900°C	1 100°C	1 000°C
予熱空気温度	434°C	630°C	495°C 522°C
ダイリュション空気ブリード温度	使用	停止	
空気量配分	100%	20%	80% 100%

る目的と既設レキュペレータの保護をかねて、ダイリュション空気の停止をねらったものである。その概略と仕様を図 22、表 5 に示した¹⁶⁾。

このレキュペレータ増強によつて、

- i) レキュペレータによる排熱回収率が、従来の 30% から 34% に向上し、空気予熱温度が 450°C から 500°C と約 50°C 上昇した。
- ii) ダイリュション空気ブロー停止による電力削減ができた。

i) の効果による加熱炉の熱量原単位の削減率は 3.6 %、およそ $13 \times 10^3 \sim 15 \times 10^3$ kcal/t の低減が達成された。

(2) Mガス予熱レキュペレータ

排熱回収の増強と火炎温度の上昇を目的として、空気予熱用レキュペレータの後に、Mガス予熱用のレキュペレータを設置した。

Mガス予熱用レキュペレータ設置により、空気用レキュペレータのみの排熱回収率 26.5% から 39.7% に向上した。さらにMガスの予熱温度が約 400°C であり、これは火炎温度的に 400 kcal/Nm³ のカロリーアップに相当する。

Mガスレキュペレータ設置による熱量原単位の削減効果は、およそ 6.6×10^3 kcal/t である¹⁶⁾。(分塊均熱炉実績)

(3) 噴流予熱装置

加熱炉における排ガスは、レキュペレータで熱回収さ

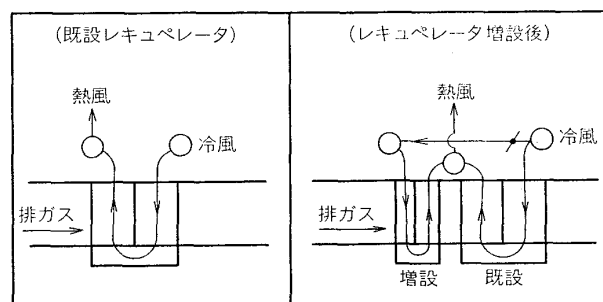


図 22 レキュペレータ増強概念図

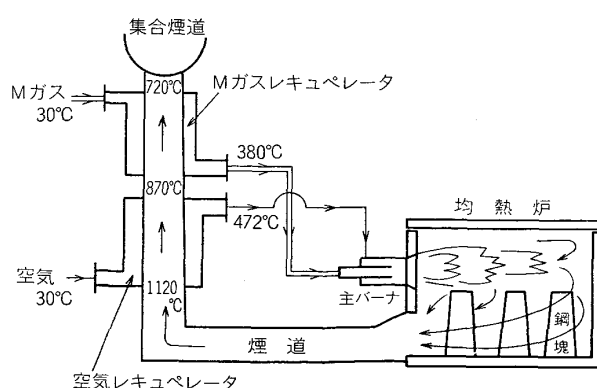


図 23 Mガスレキュペレータ設置概要

表 6 Mガスレキュペレータ仕様と実績

型 式	仕 様	実 績
伝 熱 面 積	ラジエーション・スタックタイプ メタリックレキュペレータ	39m ²
排 ガ ス { 流 量 温 度	18,200Nm ³ /h 入口—出口 960—840°C	入口—出口 870—720°C
レキュ出口空気 温度	430	380
M ガ ス 流 量	6 000Nm ³ /h	
	160 mmH ₂ O	
熱 交 型 式	向 流 型	

れた後、煙突より排出される。排ガス温度はレキュペレータ出側でも、およそ 500~600°C ある。排ガス噴流予熱装置は、この排ガスの顕熱をさらに回収して熱効率を向上させる目的で排ガスを高温送風機で吸引昇圧しノズルから高速噴流を装入鋼材表面に吹きつけて予熱するものである。噴流予熱装置付きの加熱炉の概要系統図を図 24 に示す¹⁷⁾。

噴流予熱装置による効果は、予熱装置の炉長または、在炉時間によるが、排ガスの噴流温度が 550°C、予熱装置内在炉時間を 25 min とすると鋼材予熱温度は、約 200°C となり、排ガス温度は 350°C~400°C となる。従来の高負荷炉に比べて、約 30% 熱量原単位が低減し同じ炉長の低負荷炉に比べても約 17~18% の低減効果があるとの試算が報告されている¹⁷⁾。

噴流予熱の実績としては、住金・和歌山のシームレス工場の加熱炉に別置型の予熱装置が、昭和 51 年 5 月稼動以来、当初の仕様の 30% 能力アップを上廻る効果が報告されている¹⁸⁾。

一方、加熱炉組入型の予熱装置は、新日鉄・大分の厚板加熱炉に設置され、昭和 52 年 1 月稼動以来、原単位低減に寄与している¹⁹⁾。

3.3 圧延ミルの省エネルギー

圧延ミルの電力は、ここ数年増加傾向にある。これはかつての高度経済成長時の生産設備の拡大、大型化、能率化などに伴って、圧延ミルも大型化、高能率化されフル稼動に近かつたものが、オイルショック以降の生産量の低減化により、その稼動率が大中に低下したこと、および環境対策用電力の増加などが大きな要因である。

さらに、省エネルギーのためのトータルエネルギーミニマム化の検討から、後述するような低温抽出などによる電力原単位の増加なども一つの要因となつている。

このような状況からも圧延電力の削減には一層の努力が必要である。

3.3.1 低温抽出と圧延電力

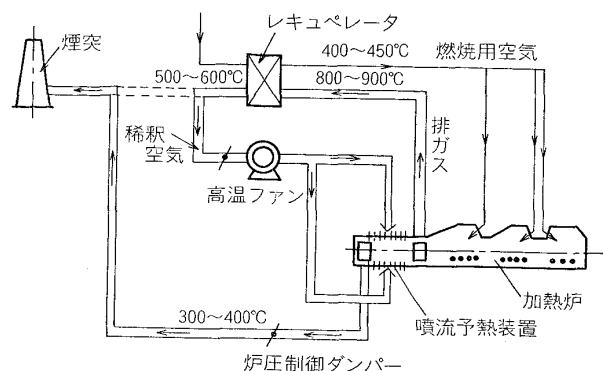


図 24 予熱装置付加熱炉系統図概要

加熱炉の抽出温度を下げることは、直接燃料の削減につながるが、他方圧延電力は増加する。これら燃料と電力を総合したトータルエネルギーのミニマム条件はどうかという検討が現在積極的に行なわれている¹¹⁾。

抽出温度の低下によって、加熱炉の熱量原単位は比例的に低減するが、圧延電力の増加割合は、ミル能力、鋼片材質、仕上りサイズ（板厚、形状、寸法）によつて一様でなく、簡単に最適抽出温度が決まるものではない。

また、製品品質や仕上温度の確保などの制約条件があるので、どのような鋼種、サイズを集約し、どのような圧延パススケジュールを組めば、何度の抽出温度を確保すればよいかといった総合的な検討が必要である。

今後、ますます、トータルエネルギーミニマムを前提にした圧延設備能力の見直し、増強などの技術開発、設備改善が進められよう。

3.3.2 ミル配置の適性化

圧延の仕上温度を確保し、かつ低温抽出を進めるには圧延中の温度降下をできるかぎり少なくすることが必要である。圧延中の温度降下を防止する方法として、粗圧延ミル前後のシートバーの温度降下防止装置を設置することも検討されているが粗圧延と仕上圧延との負荷配分とミル配置によつて温度降下を少なくするための搬送時間の短縮と粗圧延能率の向上を目的に、ミル配置の最適化などの検討がなされている¹¹⁾。

3.3.3 熱延・冷延間の板厚配分

例えば、熱延において仕上板厚を薄くすると、熱延での燃料、電力、その他の使用エネルギーは増加する。

一方、冷延工程では、板厚が薄く表面積が大きい分だけ酸洗におけるエネルギーは増加するが、冷延電力は減少する。したがって、最終製品の板厚に対する熱延工程と冷延工程間の板厚配分を適正化することによつてトータルエネルギーミニマム点が存在する。これらの検討が総合的に進められており、熱延の仕上り厚みは、2.5 mm 位が、省エネルギー的に最適との検討例が示されている¹¹⁾。

3.3.4 圧延電力の削減項目

(1) 実稼動率の向上

電力原単位の増加の最大の原因である、生産量の低下に伴う稼働率の低下は、今後も当分続くものと考えられるので、電力削減のためには、無負荷運転の防止に努力しなければならない。

これは、圧延工程全体の工程管理を強化して、集中生産の適する設備は集中高負荷稼働を、また低負荷運転が適するものは低負荷連続運転を行ない、実稼働率の向上と、各電源スイッチを細分化し、部分的に on-off を可能として例えばローラテーブルなどの空転を最小限におさえるなど、キメ細かな作業管理が必要である。

(2) 機械的損失の防止

圧延機の主駆動軸部のスリパースピンドル部における 3～4% の摩擦損失をユニバーサルジョイントの採用によつて防止した例¹¹⁾や、熱間圧延にも潤滑油を使用する油圧延の普及によつてロール表面性状の改善と同時に摩擦損失の低減による電力原単位の削減など機械的な伝達効率の向上、ロールの摩擦損失の低減にも積極的な検討が加えられている。油潤滑圧延の効果としては従来の水潤滑圧延に対して、約 6% の電力原単位の削減が可能なデータが報告されている¹¹⁾。

(3) 電源の SCR 化

電源の直流変換効率の向上をはかるために、最近の圧延機の電源には、ほとんど SCR (Silicon Controlled Rectifier) が採用されているが、古いミルには MG (Motor and Generator) や MR (Mercury Rectifier) が使用されている場合が多い。

特に、MG 式を SCR 化することにより変換電力損失の 10% 程度の削減が期待できる¹¹⁾。

3.4 冷延工程の省エネルギー

冷延工程における主要な使用エネルギーは、電力、燃料、蒸気であり、その使用割合は、冷延鋼板、Zn メッキ、Sn メッキなど、製品の構成によつて大巾に異なってくる。

電力は、冷間圧延機、Sn メッキライン、焼鈍炉の循環ファンなどが主な使用先であり、燃料は焼鈍炉の熱源に蒸気は電解洗浄ライン、圧延ライン、焼鈍炉、メッキラインなど各所の熱源に消費されている。

冷延工程における省エネルギーは、各ラインにおける電力、燃料、蒸気などの使用効率を向上させることが、基本的な対策事項であるが、さらに工程全体の観点からは、冷延工程自体が、熱延コイルの酸洗-冷間圧延機-電解洗浄-焼鈍-防錆冷却-調質圧延-検査精整など、個々にバッチ処理の工程が多く、生産効率の低さ、アイドルタイムによる損失などシステム的な原因のエネルギーロスが多い。

これらのバッチ的処理工程に対して、完全連続圧延ミル、連続焼鈍炉など、設備の連続化技術の開発、導入により、圧延効率、焼鈍効率の向上が行なわれつつあるが製品品種、材質、形状の多様化および各工程の処理時間

の差などが、すべてに連続化を導入する上での阻害要因となっている。

これらの状況にある中で、各プロセスの作業技術や設備の改善、新プロセスの開発など、積極的な省エネルギーが進められている。

以下に、冷延工程の省エネルギー実施状況の概要を示す。

3.4.1 蒸気使用量の削減

冷延工程における省エネルギー活動の中で酸洗工程や電解洗浄工程における蒸気使用量の削減成果には著しいものがある。

各工程において製品品質の確保をはかりながら洗浄水量の見直し再使用による新水補給量の低減、液温の低減排温水と給水との熱交換による排熱の回収、ドライヤーなど間接加熱方式の場合の蒸気ドレンの回収利用など、キメ細かな改善努力の成果として、従来の蒸気使用量の 40～70% の削減事例が報告されている²⁰⁾。

なお、これら蒸気原単位も処理能力 (t/h) によって大きく影響されるので、製品材質サイズなどの集約化、連続処理といった工程管理も重要な要因となっている。

今後の課題としては、熱源としての蒸気から他の熱源特に他設備の排熱、排温水の利用など、各種の検討が進められている。

3.4.2 焼鈍炉における省エネルギー

焼鈍炉の省エネルギーも基本的には加熱炉の省エネルギーと同じで、排ガス損失熱の低減、排熱の回収、炉体放散熱の低減が主要な項目である。

相違点は、焼鈍炉の場合加熱炉のように、次工程の圧延加工に適した温度で抽出するのではなく、熱処理条件に適した温度履歴が目的で、加熱-均熱-冷却が 1 サイクルになっていることである。したがって冷却時の製品顕熱も放散されており、大きな損失熱となっている。

現在実施されている主な省エネルギー対策は、まず、低空気比燃焼のための制御系の改善およびバーナ間のバランス調整である。特にラジアントチューブを使用している複式焼鈍炉や、その使用本数が非常に多い連続焼鈍炉の場合、メインの空気比制御系と各 1 本ごとのラジアントチューブバーナ間のアンバランス、および流量変化に対する空燃比の追従性の問題があり、中には理論空気量の倍以上の空気量で作業しても未だ不完全燃焼をしているようなバーナもある。バーナ間のバランスおよび制御系の改善によつて低空気比燃焼による排ガス損失熱の低減を行なうと同時に NO_x の低減によつて環境改善への寄与も大きい。低空気比燃焼によつて排ガス損失熱の 30～40% の低減により熱量原単位を 15～20% 向上させた例もある²⁰⁾。

一方、排熱の回収については、従来排熱回収装置が設置されていたものが少なく、最近、省エネルギーの観点からバッチ式焼鈍炉へのレキュペレータの設置が進めら

れており熱量原単位で 10% 程度の向上効果が得られている。またラジアントチューブにもレキュペレータの未設置のものが多かったが、最近レキュペレータ付のラジアントチューブが一般的となり排ガスの 10~20% の熱回収が行なわれている。

炉体放散熱の低減に関しては、特に、バッチ式焼鈍炉のような焼鈍サイクルの繰返しを行なう炉体は、耐火レンガのような熱容量の大きいものは、蓄熱損失が大きいので、この対策として、最近、普及しているセラミックファイバーの内張、または、炉体の軽量化も含めて、セラミックファイバー構成の炉体とし、断熱の強化と蓄熱損失の低減化が行なわれている¹⁵⁾。

3.4.3 電力の削減

冷延工程における主要エネルギーである電力の削減には、まず冷間圧延ミルにおける摩擦損失の低減と、各工程における効率の向上である。前者の対策としては、圧延油の潤滑性能の向上と清浄性の向上とであり、各種の潤滑油が開発検討されている¹¹⁾。後者に対しては、品質材質、形状など多種多様のニーズに対していかに集約化して、連続集中生産を実施するかといった工程管理と作業中断の原因となる破断や疵の発生防止および不良率の低減など品質管理の強化が重要である。

3.4.4 工程の連続化

バッチ的処理工程の繰返しの多い冷延工程において、これを連続化することは、能率、歩留、省エネルギー上大きな効果がある。

従来導入されている連続焼鈍設備は、急速加熱と急速冷却工程による微細結晶粒化と固溶炭素析出との焼鈍硬

化による硬質材の製造により、主としてブリキ材としての Snメッキラインに設置されているが、現在注目されている連続焼鈍設備は軟質材製造設備で、その 1 例を図 25 に示した⁶⁾。

この連続焼鈍設備は、製鋼過程における成分調整、熱延における低温仕上げと高温捲取、焼入時効の軽減化など、新技術の開発により深絞り用冷延鋼板の製造を可能にしたもので、従来の電解清浄、バッチ焼鈍、防錆冷却調質圧延、検査精整の 5 工程を連続化した新プロセス・CAPL (Continuous Annealing and Processing Line) と呼ばれている。この新プロセスにより、従来のバッチ式焼鈍に比べて、歩留の向上を含め省エネルギー効果は、 $100 \times 10^3 \sim 150 \times 10^3$ kcal/t-product となる大きなものである⁶⁾。

3.5 歩留向上による省エネルギー効果

製鉄プロセスにおける各工程の歩留の向上は、その工程までに投入してきたエネルギーを、それだけ有効に利用できる点で、非常に直接的な省エネルギー対策となる。

今、成品製造量を一定と考えると、製鋼以降のある工程での歩留が向上した場合、その上工程までの使用エネルギー原単位が歩留向上分だけ削減されることになる。

歩留 1% 当りの省エネルギー評価の算出⁶⁾

$$\Delta H_n = \frac{1}{100} \left[H_n + \frac{H_{n-1}}{\eta_{n-1}} + \frac{H_{n-2}}{\eta_{n-1} \times \eta_{n-2}} + \frac{H_{n-3}}{\eta_{n-1} \times \eta_{n-2} \times \eta_{n-3}} + \dots \right]$$

但し、 $\Delta H_n = n$ 工程における歩留 1% 当りの省エ

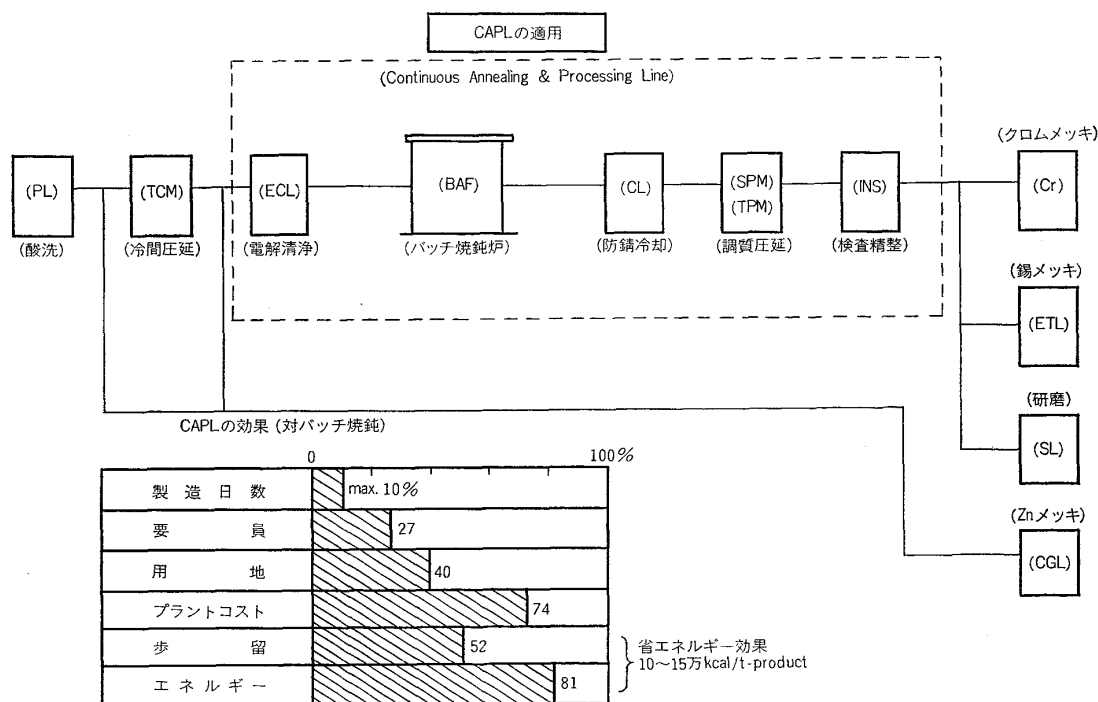


図 25 冷延工程の連続化フローシート (CAPL)

エネルギー評価, kcal/t

$$H_i = n \text{ 工程より上工程のエネルギー原単位} \\ \text{kcal/t}$$

$$\eta_i = n \text{ 工程より上工程の歩留, \%}$$

上式において製鋼以降で発生するスクラップは、すべて製鋼用に再利用されると考えると、歩留向上による省エネルギー量は、製鋼以降の投入エネルギー量で評価できる。したがって製鋼での1%の歩留向上を概算すると約 $2 \times 10^3 \text{ kcal/t-ingot}$ の省エネルギーに相当し、最終成品である冷延鋼板での1%の歩留向上は、約 $20 \times 10^3 \text{ kcal/product}$ の省エネルギーに相当する。このように歩留の向上は、コスト削減、省エネルギーにと、非常に効果的な対策となる。

4. 圧延工程における省エネルギーの評価

以上、圧延工程における主要な省エネルギー対策と実施状況について、その概要を述べてきたが、その省エネルギーの評価を図 26²¹⁾ に示した各工程の熱量原単位および電力原単位の推移でみると、熱量原単位は全工程において向上し、およそ 20~25% の削減となつているが電力原単位は全工程悪化し、5~10% 低下している。

蒸気原単位に関しては、前記の省エネルギー例から、およそ 30% 程度の削減効果と評価すると、圧延工程全体の現在までの省エネルギー評価は、図 3 における圧延工程のエネルギー構成を基準にして概算すると、およそ 12% の省エネルギー実績となる。これを図 1 の工程別エネルギー使用割合から製鉄所全体の省エネルギー寄与率として評価すると、およそ 1.7% 程度となる。

では今後、圧延工程における省エネルギーは、どの程度達成されるかを予想すると、まず、スラブ顕熱の活用としての熱片装入、直送圧延による加熱炉燃料の削減、

加熱炉の最適制御による操業改善、排熱回収の徹底化、冷延工程の連続化や焼鈍炉の効率化、蒸気使用量の合理化、効率化、圧延電力の削減など、各種の新技术と総合技術の結集により、燃料使用量の 40% 削減、蒸気使用量の 50% 削減、電力原単位については現在 10% 悪化しているものを ±0 へ改善することなどが、現状における実現性のある省エネルギー目標であろう。

これらに基づいて同様の評価を行なうと、圧延工程の省エネルギーの予想は、約 25% 削減となり、製鉄所全体の省エネルギー寄与率は、約 3.5% 程度と考えられる。

5. 省エネルギーの今後の方向

5.1 熱片装入と直送圧延

圧延工程の省エネルギー項目の中で、最も代表的なものとして位置づけられている熱片装入と直送圧延は、今後とも、益々発展し量の拡大が期待される技術である。

以下にこれら 2 方法の今後の位置づけと問題点について示す。まず両者の今後の位置づけとしては、製鉄工程全体のプロセス的観点からみると製鋼-分塊工程において、効率的、品質的、また省エネルギー的な観点から、今後、ますます、連続化技術が開発され拡大されよう。したがって連続後の鋼片の温度分布条件、連続工場と圧延工場のレイアウト的な関係からも、既設工場では、連続材→熱片装入→圧延ミル、という一連の処理工程が主要な工程となることが考えられる。

一方、連続に向けられない材料は、造塊、均熱炉を経て分塊材→直送圧延、という工程になり、両者、互いに補ない合う製鉄プロセスとして発展するであろう。

しかし、この前提条件としては、表面疵防止のための製鋼、連続、造塊、分塊工程における品質と工程管理技術の強化、熱間疵検出装置と疵取り装置の開発などが必要である。

また、熱片装入、直送圧延が、通常の主工程として稼動するためには、製鋼、連続、分塊、加熱炉、圧延ミルそれぞれの独立した工程間のバランスが重要になる。

熱片装入には、製鋼-連続-加熱炉-圧延ミル、直送圧延には、造塊均熱炉-分塊ミル-圧延ミル、という 2 工程の設備能力のバランスが問題なり、前工程の処理能力のネックが圧延ミルの生産能力のネックとなる可能性が生ずる。したがって、これら各工程の設備能力の適切なバランスと綿密な工程管理技術および品質管理技術の強化による不良率の低減が熱片装入、直送圧延によるスムーズな生産能力を維持するための必要条件である。

5.2 加熱炉の効率化

加熱炉操業の効率化が積極的に進められているが現状の操業は、加熱炉能力の 50~60% 程度の低負荷で、予熱帯消火や、各種の効率化によつて、従来の熱量原単位が $450 \times 10^3 \sim 500 \times 10^3 \text{ kcal/t}$ の加熱炉が、現在 $300 \times 10^3 \sim 350 \times 10^3 \text{ kcal/t}$ と約 30% の削減となつている。

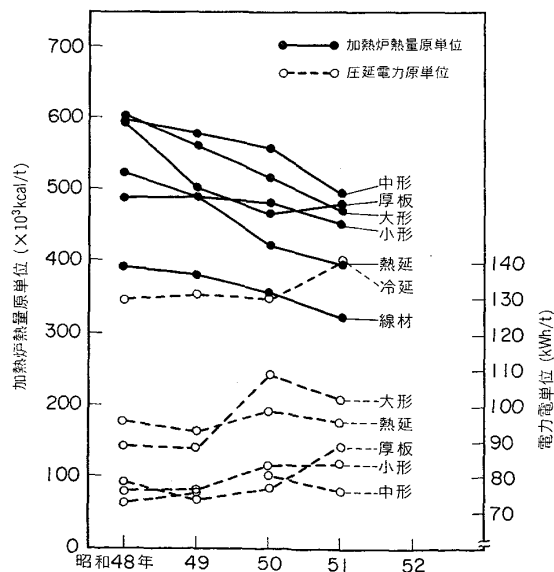


図 26 圧延加熱炉熱量原単位と圧延電力原単位の推移

これを炉床負荷でみると設計時の値が 750~850kg/m²h と高負荷設計であつたものが、現在は 600 kg/m²h 前後低負荷操業となつているため予熱消火が可能であり、すなわち炉長延長に相当する操業となつている。今後さらに加熱炉の効率化をはかるには徹底した低 O₂ 燃焼制御システムの導入、炉壁、スキッドパイプの断熱強化といった基本的事項に加えて、最も力を入れるべき事項は、排ガス損失熱の低減化である。

このためには、最適ヒートパターンの設定などの操業技術だけでなく、燃焼用空気レキュペレータの増強とガス燃焼炉であればガス予熱レキュペレータの設置および炉長延長効果と噴流予熱の効果との比較による総合的な観点からの最適な設備投資など徹底した排ガス温度の低減化をはかるべきである。現在、熱効率の悪い熱設備といわれている加熱炉の熱効率を、ボイラなどの高効率設備を目標に、将来 80% 以上の熱設備にするような目標をもつべきである。

5.3 加熱炉-圧延ミルの最適制御

圧延機の圧延パススケジュールにおいて、圧延-冷延の最適板厚配分や、仕上げ温度の確保を前提条件に、仕上げ-粗圧延の板厚配分、温度降下量から加熱炉の抽出温度を決定し板厚、抽出速度などの変化から加熱炉の負荷変化を予測して加熱炉の各ゾーンの最適設定温度と燃料投入割合などを制御する、総合的な計算機制御の導入によつて品質の向上とトータルエネルギーのミニマム化をはかる。

5.4 工程の省略・連続化

熱片装入、直送圧延、厚板の直接焼入れなど鋼材顕熱の有効利用をはかる工程の省略・直結、および連続焼鈍ラインのような従来バッチ処理工程の連続化などは、生産効率の向上、省エネルギーに大きな効果が期待できるものである。

今後一層の新技术の開発と総合的な技術力の結集によつて新たなプロセスの連続化、代替技術による工程の省略化を進め、その実施率の拡大がはかられよう。

5.5 低温排エネルギーの利用技術の開発

製鉄所における省エネルギーが進めば進む程、最終的にはエクセルギーレベルの低い排ガス、温排水、蒸気ドレンなどの比率が高くなり、これらの利用技術の開発と利用方法の開拓が最終的な課題となつて来る。

特に圧延工程における加熱炉の最終排ガスと冷却水は温度レベルは低いが、熱量は多いので、これを有効に利用出来れば大きな省エネルギーとなる。

低温排エネルギーを回収するには、温水、蒸気、電力など各種のエネルギー形態が考えられるが、温水、蒸気などの場合、製鉄所内のみでは、使用量、使用先に限界があり、最後の電力変換が望ましい。現在、低温排エネルギーによる電力回収の各種実験が行なわれているが、効率が高く、設備費の低廉な新技术の実用化が待たれる

所である。しかし低温排エネルギーの利用方法については製鉄所内のみに限らず、今後、所外他工場、農業、漁業などの他産業や冷・暖房・給湯源への排エネルギーの利用で地域都市などとの有機的な結合によるエネルギーの総合的な有効利用システムの開発などを行なうことも一つの課題であろう。これによつて、エネルギーの効率的な活用、工場-地域全体での省エネルギー、環境改善、工場と地域との融和など、大きな成果が期待できるのではなかろうか。

6. 結 言

圧延工程におけるエネルギーの使用状況とその損失内容に対しての省エネルギー対策の現状と今後の方向などについて、代表的な設備を対象に、その概要を述べて来た。圧延部門は製品の種類とその工程は非常に多岐にわたるので、個々の設備、工程について細かく記述し得なかつたが、今回ふれた項目には各設備に共通したものも多いと思われるので御容赦願いたい。

現在までの省エネルギー対策は、設備、工程に関して基本的な、キメ細かい操業技術の改善、設備の改善がベースとなつているが、同時に新工程、新技术の導入は単に熱的やエネルギー的な技術だけではなく、すべての技術の総合力による成果であつた。特に今後のトータルの省エネルギーとコストミニマム化の推進には、この総合的な技術力の結集にかかつていと言つても過言ではない。

今後の資源やエネルギー問題の動向を考えると、長期的な視点から、新たな省エネルギー技術開発の成果として、より効率的な設備やプロセスが現われることを期待したい。

なお、本稿を作成するに当たり、各種の資料を参考にさせて頂いた方々および助言を頂いた方々に深く謝意を表わします。

文 献

- 1) 第 61 回熱経済技術部会資料 (1977): 昭和 51 年度鉄鋼工場におけるエネルギーバランス
- 2) 第 61 回熱経済技術部会資料 (1977): 昭和 51 年度鉄鋼工場におけるエネルギーバランス (川鉄・千葉)
- 3) 同 上
- 4) 同 上
- 5) 同 上
- 6) 第 56 回熱経済技術部会資料 (1975): 鉄鋼業における省エネルギー
- 7) 第 54 回熱経済技術部会資料 (1974): スラブクーリングボイラ (鋼材熱回収装置)
- 8) 川鉄・技術会技資料: 第 3 回エネルギー技術会議連続加熱炉への熱片装入の効果について
- 9) 同 上
- 10) 同 上

- 11) 土屋健治：日本鉄鋼協会，第 39 回西山記念技術講座 (1976)，圧延プロセスにおける省エネルギー，p. 170～177
- 12) 佐藤邦昭：熱管理士，3 (1978)，p. 27
- 13) 川鉄・技術会議資料，第 8 回熱延技術会議資料 (1977)，千葉 2 Hot 加熱炉燃料原単位の低減について
- 14) 日本熱エネルギー協会：第 8 回省エネルギー事例集 (1977)
- 15) 第 61 回熱経済技術部会資料 (1977)：“セラミックファイバー応用例”
- 16) 第 61 回熱経済技術部会資料 (1977)：“(1)2 Hot 加熱炉レキュペレータ増設結果について”
- “ (2) 3 分塊均熱炉 M ガス予熱レキュペレータ稼動状況 ”
- 17) 日本熱エネルギー技術協会：エネルギー技術開発シンポジウム (1976)，“鋼材の排ガス噴流予熱装置について”
- 18) 第 61 回熱経済技術部会資料 (1977)：“加熱炉の排熱による高速噴流式管材予熱装置について”
- 19) 第 61 回熱経済技術部会資料 (1977)：“大分・厚板加熱炉噴流予熱装置”
- 20) 日本熱エネルギー協会：第 3 回省エネルギー全国事例集 (1978)
- 21) 日本鉄鋼連盟管理部：圧延作業調査表 (1973～1976)