

製鋼工程における省エネルギー*

藤井 隆**・野崎 洋彦**・山岸 静直***

Energy Saving in Steelmaking Processes

Takashi FUJII, Hirohiko NOZAKI, and Yoshinao YAMAGISHI

1. 緒 言

一貫製鉄所の製鋼および分塊部門で消費されるエネルギーはおのおの 2.8%, 2.4% (鋼管福山 1976 年 7 月実績) で比較的少ない。しかし前工程から持ち込まれる溶銑の顕潜熱は 12% もあり, このほか製鋼工程で消費される合金鉄, 副原料, および耐火物などの製造エネルギーの合計も数%に達する。したがって製鋼工程の省エネルギーは外部購入エネルギーの節減はもとより溶銑および鋼の顕潜熱の利用, 製鋼用副原料, 資材品の節減, および製銑工程で多量のエネルギーを付加された溶銑を主原料とする鋼の歩留向上などが主なテーマとなる。省エネルギー対策は製鉄所の重要課題として進められており, すでに報告も提出されている^{1)~3)}。しかし省エネルギー技術はまだ発展の途中で今後も多くの成果が期待できる。

本文では現在の製鋼工程を前提に一貫製鉄所における省エネルギー対策の現状と今後の方向について述べる。

2. 製鋼工程のエネルギー消費状況

2.1 エネルギーバランスおよび省エネルギーのポイント

鉄鋼一貫製鉄所における製鋼工場のエネルギーバランスとして鋼管福山 (1976 年 7 月, 1, 2, 3 製鋼計) の例を図 1 に示す。また図 2 に製鋼工程のプロセスと主要熱源フローおよび省エネルギーの要点を示す³⁾。図中太線は主産物の鋼の製造工程を示している。

2.1.1 溶銑輸送および転炉精錬工程

溶銑は約 1500°C で出銑され約 1350°C で転炉へ装入され顕熱として約 $267 \times 10^3 \text{kcal/t-steel}$ (溶銑配合率 85.2%) を持つ。

溶銑中の各成分 (潜熱) は酸化反応によつて溶鋼, 溶融スラグの顕熱および排ガス顕潜熱へ転換される。これらの酸化反応熱は $170 \times 10^3 \text{kcal/t-steel}$, 複塩生成熱, お

よび Fe_3C の分解熱は約 $60 \times 10^3 \text{kcal/t-steel}$ で鑄造に必要な溶鋼顕熱約 $340 \times 10^3 \text{kcal/t-steel}$ を得るには過剰となる。この溶鋼温度コントロールは鉄鉍石または石灰石の分解熱によつて行なわれるが, 鉄鉍石は直接鉄に還元され歩留向上につながり, 石灰石は生石灰焼成エネルギーの節約となる。一般的には前者の歩留向上法が取られているが石灰石冷却を行なっている工場もある。

このように溶銑温度 (顕熱) を高く保つこと, および転炉出鋼後の溶鋼顕熱保持は歩留または石灰の省エネルギーにつながる事ができる。

転炉精錬中発生する排ガスは 90% 以上が CO ガスでその顕潜熱合計 $255 \times 10^3 \text{kcal/t-steel}$ は製鉄所購入エネルギーの約 5% に相当する。現在この内約 65% は回収されているが, より以上の効率向上は製鋼工程のみならず製鉄所全体の省エネルギー項目としても上位にランクされている。

溶融スラグの顕熱は約 $60 \times 10^3 \text{kcal/t-steel}$ でかなり大きい。現在未利用で今後の回収技術開発が待たれる。

転炉精錬で必要とする動力エネルギーは製鉄所全体からみて比較的少ないが, 電力については各種の節電対策が実施されている。

転炉製鋼用原料資材品関係では溶銑脱 S 剤, および生石灰など副原料, 合金鉄の節減および転炉耐火物のコスト低減などがあり, いずれも相当な省エネルギー成果をあげている。広義の省エネルギーとしては転炉スラグ中の地金回収 (各社かなり実施) およびスラグの有効活用 (技術開発中) などがある。

2.1.2 造塊・分塊工程

造塊工程の省エネルギーは溶鋼および鋼塊顕熱の保持と有効利用が重要テーマである。具体的には取鍋保温強化による溶鋼温度低下防止, および残溶鋼・残鋼塊の顕熱を有効に転炉へリターンする技術などである。また取鍋を主体とする造塊耐火物の節減および省エネルギーも重要であり, 今後も新技術の開発が期待される分野であ

* 昭和 53 年 3 月 16 日受付 (Received Mar. 16, 1978) (依頼技術資料)

** 日本鋼管 (株) 本社 (Nippon Kokan K.K., 1-1-2 Marunouchi Chiyoda-ku Tokyo 100)

*** 日本鋼管 (株) 福山製鉄所 (Fukuyama Works, Nippon Kokan K.K.)

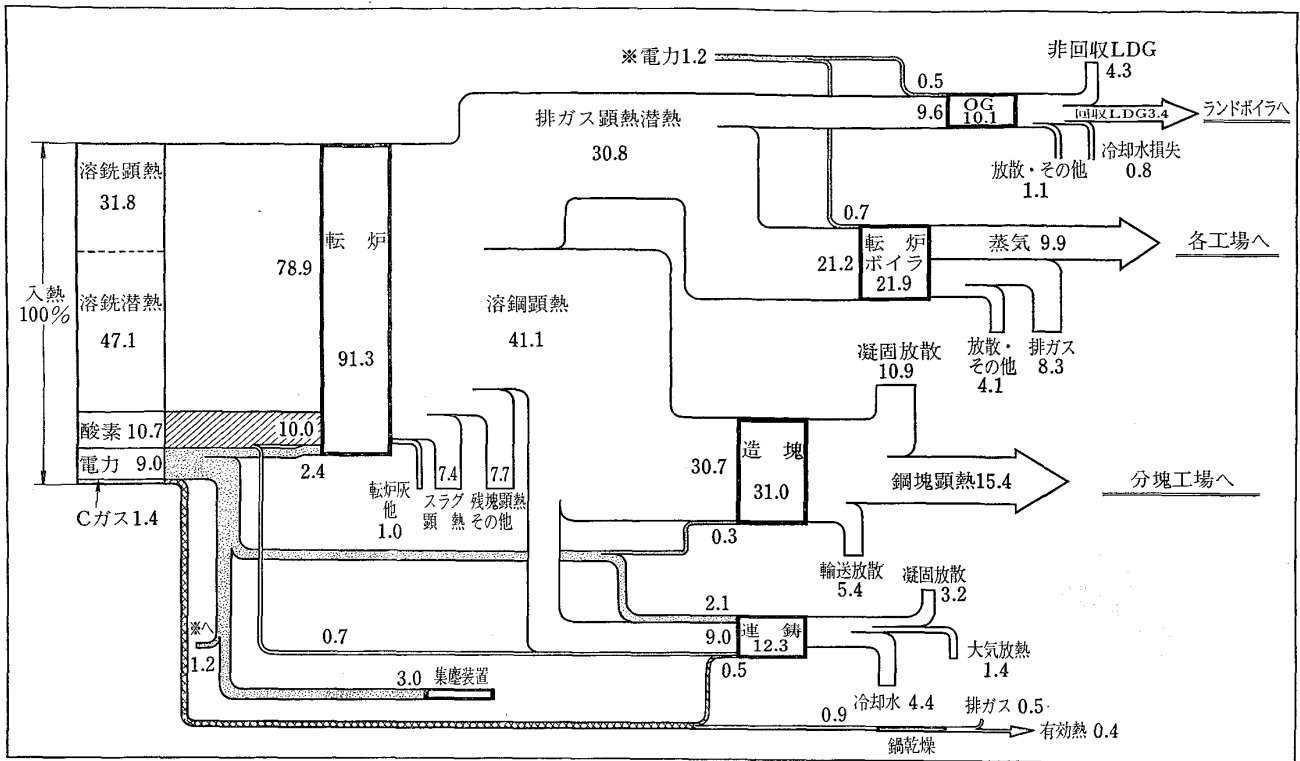


図1 転炉工場におけるエネルギーバランス (鋼管福山1, 2, 3工場合計 1976.7実績)

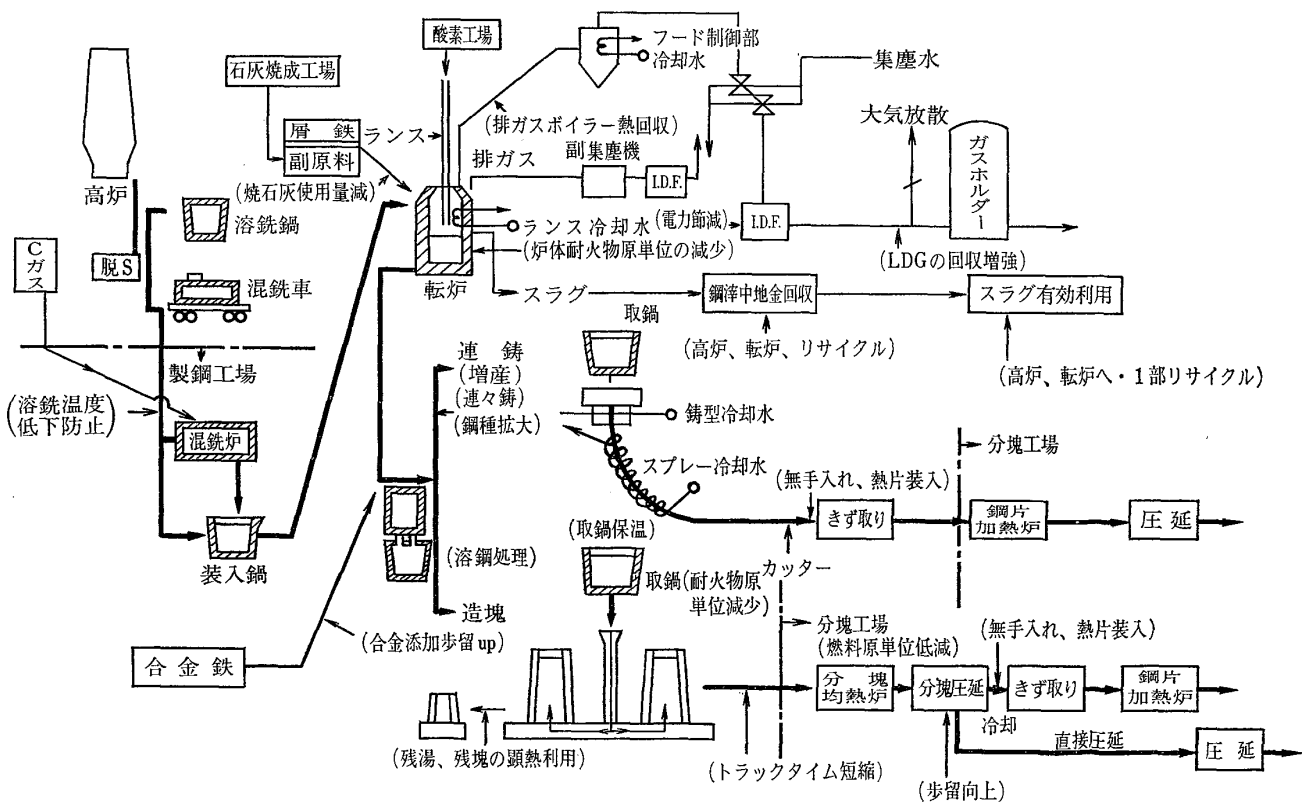


図2 製鋼工場の主要熱流れと省エネルギー

る。
分塊工程のエネルギーフロー概念と代表的な工場のエネルギー消費量例を図3に示す。特徴は素材（鋼塊）および半製品（鋼片）の含熱量が大きいこと、それに分塊工程で消費されるエネルギーは均熱炉燃料が大半を占めることである。したがって分塊での省エネルギー達成は

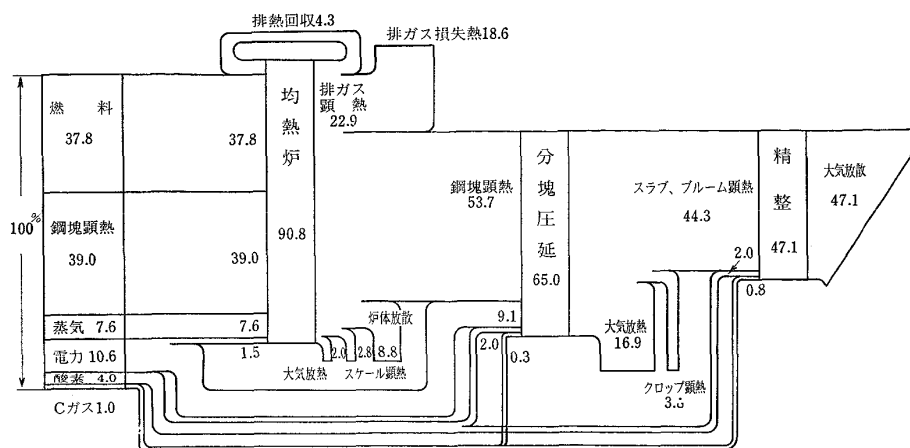


図3 分塊工場のエネルギーフロー

受入れ鋼塊の熱量の増加 ②均熱炉での燃焼設備、方法の改善 ③圧延済鋼片含熱量の有効利用、の3項目を柱として、電力その他動力原単位削減をはかることとなる。

2.1.3 連続製造工程

連鑄工程では造塊材の連鑄化が一貫歩留の向上によりそのまま省エネルギーとなる。したがって既存連鑄設備での増産対策、および連鑄機の設置による連鑄鋼比率の向上が重要項目である。連鑄鋼の歩留向上としては上記以外に連連鑄回数の上昇および鋼片の手入省略の効果が大きい。また分塊工程と同様鋼片の頭熱利用（ホットチャージ）、および動力エネルギーの節減も徐々に進んでおり、今後の課題である。また高級な耐火物を多く使用する連鑄法では耐火物節減も主要なテーマである。

以上のように製鋼工程の省エネルギー項目は多岐にわたりその効果も比較的小さいものが多いので多くの項目を逐次積みあげてゆかねばならない。次章以降に製鋼省エネルギーテーマのうち主要なものを選んで述べることにする。

2.2 製鋼工程における主副原料および製品のエネルギー評価

表1に製鋼工程における主副原料および製品のエネルギー評価を示す。

溶銑製造エネルギーは $4349 \times 10^3 \text{kcal/t-pig}$ （鋼管福山1976年7月実績）として製鋼工程のエネルギー評価を行なった。

製品製造中に発生する副産物（スクラップ、スケールなど）は原価的には市中の相当品にスライドして評価され、製造原価から控除されているが、省エネルギー上はゼロ評価となつている。本来スクラップは溶銑製造の工程を経て還元エネルギーを内部に蓄積しており、約 $4 \times 10^3 \text{kcal/t}$ の評価が妥当と思われるが⁴⁾、ここでは従来通りゼロ評価とした。実操業では同じ歩留ロスでもスクラップに比べ酸化の進んだスケール、ダスト類は再度還元エネルギーを多量に要するので極力酸化の進まない状態で回収するよう努力している。

以上の前提では溶銑温度 10°C 上昇により約 2000kcal/t-pig の省エネルギー、溶銑配合率 $\pm 1\%$ は約 $45000 \text{kcal/t-molten steel}$ のエネルギー増減、鋼片歩留 1% 上昇は連鑄材で約 $42 \times 10^3 \text{kcal/t-slab}$ 、造塊材で約 $48 \times 10^3 \text{kcal/t-slab}$ （脱酸構成により変動）の省エネルギーとなる。表1にはまた製鋼工程で多量に使用する合金鉄の製造エネルギーを示した。これらの製造コストに占めるエネルギー費用は約 $30 \sim 40\%$ で鋼と同様エネルギー多消費製品で、その節減は省エネルギー効果として大きい。

表1 製鋼工程における主副原料および製品のエネルギー評価

項 目	エ ネ ル ギ ー	項 目	エ ネ ル ギ ー
溶 銑 温 度 $\pm 10^\circ\text{C}$	$4349 \times 10^3 \text{kcal/t-pig}$	Al	$56.5 \times 10^6 \text{kcal/t}$
溶 銑 配 合 率 $\pm 1\%$	$\pm 2000 \text{kcal/t-pig}$	高炭 Fe-Mn	8.1×10^6 //
溶 銑 配 合 率 $\pm 1\%$	$\pm 45 \times 10^3 \text{kcal/t-molten steel}$	中炭 Fe-Mn	10.4×10^6 //
リ ム ド 鋼	$4581 \times 10^6 \text{kcal/t-slab}$	Si-Mn	11.8×10^6 //
セ ミ キ ル ド 鋼	4676×10^6 //	Fe-Si	31.8×10^6 //
キ ル ド 鋼	5127×10^6 //	高炭 Fe-Cr	14.8×10^6 //
連 鑄 ス ラ ブ	4153×10^6 //	低炭 Fe-Cr	23.2×10^6 //
ス ク ラ ッ プ	$0 (4 \times 10^6 \text{kcal/t})$		
ス ケ ー ル	0		
転 炉 ダ ス ト	0		

（備考）各鋼種のエネルギーは溶銑配合率85%、エネルギーは分塊工程まで含むが、合金鉄、副資材品のエネルギーは除外。

表2 各所における連鑄—造塊歩留比較

		(a) 連鑄厚板	(b) 造塊厚板 K	(c) 造塊厚板 SK	(b)-(a)	(d)-(a)
新日鉄 (厚板)	(1) 分塊歩留 (2) 精整歩留 (1)×(2) 精整スラブ/溶鋼	— 99.5% 99.5 97	80.7% 99.4 80.2 78~79	87.6% 99.1 88.6 86~88	約20%	約10%
鋼管・京浜	分塊 → cc 113% (回転連鑄機)					
中山・船町	フープ形鋼 (SS 41 相当) 鑄片/溶鋼で約2%向上, 圧延歩留4%向上					
Salzgitter (X-70) 造塊 連鑄	粗鑄片/溶鋼 83.2% 95.9 (バッチ)~ 98.7 (6cc)	スカーフロス 及屑化 6.9% 3.0	熱延ロス 2.5% 2.5	造管屑落 (素材起因) 2.0% 0.3		

表3 表面手入省略時の省エネルギー効果

比較条件	省エネルギー内訳	合計
250 mm /厚スラブ 2 mm /片面スカーフ 有 → 無	歩留向上 2% 省エネ O ₂ 6.5Nm ³ /t LPG 0.63 kg/t 電力 3.0kWh/t	14×10 ³ kcal/t

3. 製鋼工場におけるエネルギーの節減

3.1 連続鑄造化

鋼管福山における下注ぎ造塊材(セミキルドは上注ぎ)と連鑄スラブ材の手入済鋼片までの一貫歩留差はキャップド鋼で約7%, セミキルド鋼で約10%, キルド鋼で約18%である。製鋼工程での発生屑は連鑄造塊ほぼ同等であるが, 分塊工程の均熱炉スケールロスおよびクロップロスの差がほぼ両プロセスの歩留差となつている。鋼片手入はセミキルド鋼の4面2mm/ホットスカーフ以外はすべて部分手入として比較した。また現在までに公表された両者の歩留差を表2に示す⁵⁾。従来連鑄鋼片は通常数mm表面スカーフされ圧延されていたが, 表面欠陥, 内部欠陥防止技術の進歩により, 厚板 40 kg/mm²

鋼の大部分, 50 kg/mm² 鋼の一部, および薄板一般冷延板の大部分が現在部分手入化され⁶⁾⁷⁾, 一部は無手入熱片にて加熱炉へ装入されている。この技術は72年11月鋼管京浜で実施された厚板材の無手入圧延(40 kg/mm² 鋼は熱片装入)が最初で当初は図4に示すような製鋼より製品までの慎重な品質管理体制のもとに行なわれた⁸⁾。その後厚板材についてはモールドへのCrあるいはNiコーティング技術などの開発⁹⁾¹⁰⁾, 薄板材については主として溶鋼酸化防止などの非金属介在物防止技術の進歩により安定した表面性状が得られるに至っている¹¹⁾。

表面手入省略による省エネルギーは従来のマシンスカーフ片面2mmの場合に比べ表3に示す効果が得られる⁵⁾。

連鑄法での歩留向上はこのほか連連鑄の効果が大きい。すなわち単独連鑄ではストランド頭底部をおのおのクロップエンドとして切捨てるが, 連連鑄では各ヒートの

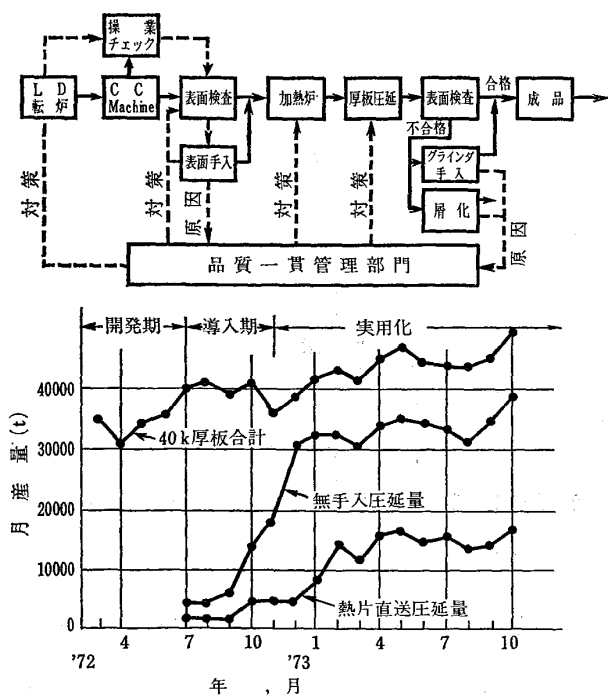


図4 日本鋼管京浜における厚板40Kスラブの無手入圧延

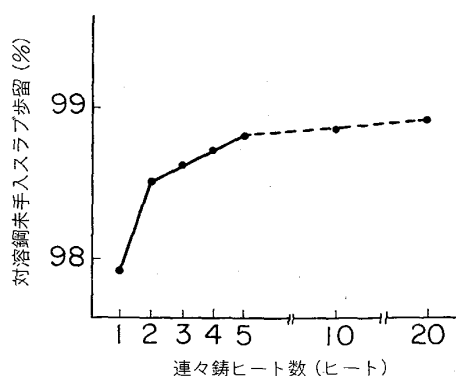


図5 連々鑄ヒート数と対溶鋼未手入スラブ歩留

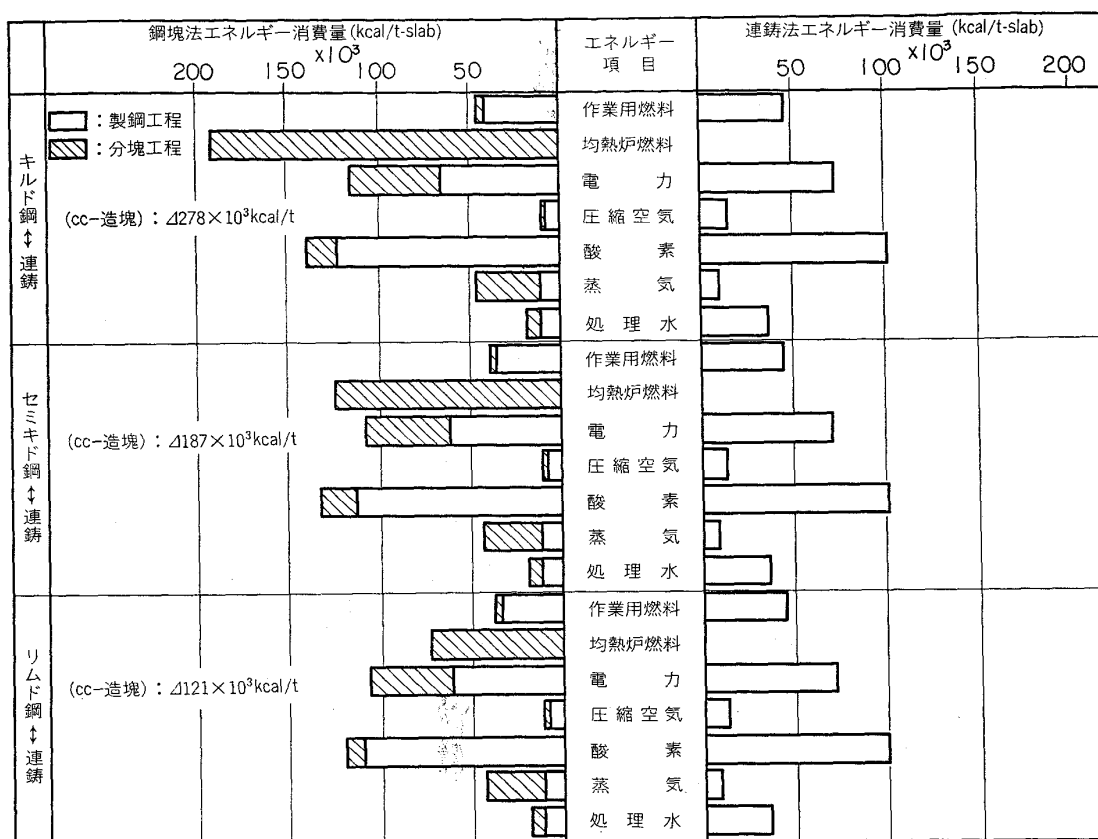


図 6 鋼塊法と連铸法のエネルギー比較

ストランドが連続して1本のストランドを形成するため歩留が向上する。図5に連铸ヒート数と対溶鋼未手入スラブ歩留の関係を示す¹²⁾。連铸は铸造サイズの比較的小さい条鋼、厚板では有利だが、鋼種および巾サイズの多い薄板用スラブ連铸材ではモールドの铸造中巾替え¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾、および異鋼種連铸の技術などが必要になってくる。

図6に造塊3鋼種と連铸材のエネルギー使用状況を比較して示す。ここ数年の分塊工程における均熱炉燃料エネルギー節減技術の進歩は著しく、連铸材のマシンスカーフ省略以上の省エネルギーとなっており両者の差は若干縮まっている。鋼管福山におけるスラブ材のエネルギー比較ではおのおのリムド鋼で $121 \times 10^3 \text{kcal/t-slab}$ 、セミキルド鋼で $187 \times 10^3 \text{kcal/t-slab}$ 、およびキルド鋼で $278 \times 10^3 \text{kcal/t-slab}$ 連铸材の方が省エネルギーとなる。連铸工程はすでに省略化された工程で動力および燃料関係の省エネルギー要素は比較的小さいが、铸片のホットチャージが一般化すれば冷却水約 $10 \times 10^3 \text{kcal/t}$ 節減できる。また新日鉄八幡ではタンディッシュの断熱ボード使用により予熱ガスを約 $10 \times 10^3 \text{kcal/t}$ 節減している¹⁷⁾。連铸法で残された大きな省エネルギー項目として鋼片の熱片加熱炉装入（ホットチャージ）または直接圧延がある。造塊材、および連铸材の各種圧延方法における鋼片含熱有効利用エネルギーを図7に示す。最大の省エネ

CASE	CASE A CASE B CASE C CASE D CASE E CASE F					
	造塊 通常圧延	造塊 熱間装入	造塊 直接圧延	連铸 通常圧延	連铸 熱間装入	連铸 直接圧延
転炉	○	○	○	○	○	○
造塊	223	223	223			
均熱炉	○	○	○	○	○	○
分塊圧延	71	71	71	227	227	227
連铸	○	○	○	○	○	○
熱間手入	104	104	104			
冷却	○	○	○	○	○	○
冷間手入	○	○	○	○	○	○
加熱炉	○	○	○	○	○	○
製品圧延	360	220	直接圧延	360	220	直接圧延
エネルギー差	0	$\Delta 140$	$\Delta 360$	$\Delta 171$	$\Delta 261$	$\Delta 481$

図7 造塊および連铸材圧延方法別省エネルギー量
(造塊はリムド鋼、単位： $\times 10^3 \text{kcal/t-slab}$ 、
手入エネルギーは0とした場合)

は連铸材の直接圧延だが、工場配置および圧延に必要な頭熱確保など問題点が多い。分塊材については後述のようにすでに国内約10工場で直接圧延が行なわれて

おり、ホットチャージもかなりの工場で実施されている。現在連铸材のホットチャージを行なっている工場は新日鉄釜石¹⁸⁾、川鉄水島¹⁸⁾¹⁹⁾、住金小倉¹⁸⁾神戸神戸・尼崎¹⁸⁾、吾嬬仙台²⁰⁾、(以上ブルーム)、鋼管京浜⁸⁾、川鉄千葉²¹⁾、住金鹿島²²⁾(以上スラブ)などで条材主体となっている。鋼管京浜では 600°C 熱片装入で約 150×10^3 kcal/t-slab の省エネルギーを達成しており、吾嬬仙台のブルーム連铸铸片の加熱炉熱片装入操業(表面温度 700°C、内部温度 1000°C)では 300×10^3 kcal/t の省エネルギーとなつている。熱片装入温度とエネルギー節減量の関係を図 8 に示す。連铸鋼の熱片加熱炉装入量を増加させるためには連铸材での出鋼タイミング(鋼種、サイズ)と圧延ラインの調整、熱片ハンドリング方法、铸片の品質保証体制、ガスカット部のバリ取りなど多くの問題を解決する必要がある。

以上は製鉄所の購入エネルギーバランス上の比較だが、連铸鋼は現在すべてキルド化して铸造されるためセミキルド鋼、およびリムド鋼の連铸化はエネルギー多消費製品である Al を主体とする合金鉄を多量に使用する

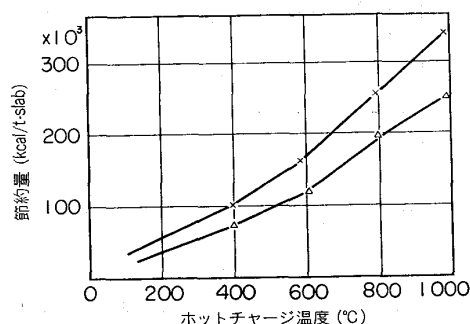


図 8 ホットチャージの省エネルギー量

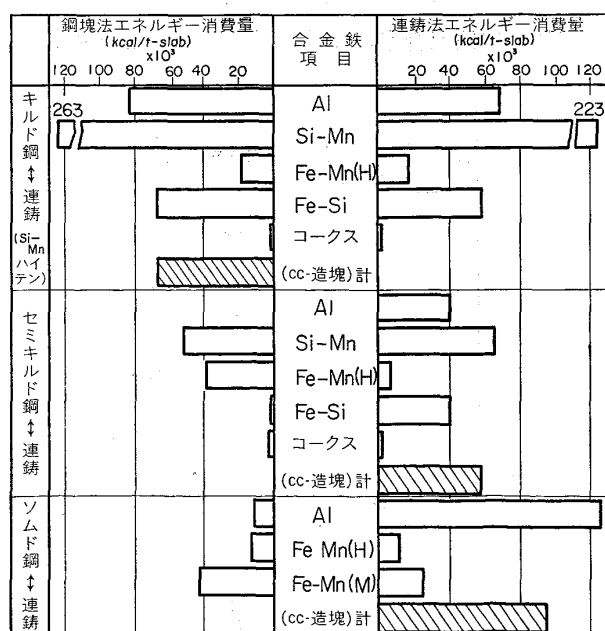


図 9 鋼塊法と連铸法の合金鉄エネルギー比較

ので total のエネルギーメリットは少なくなる。代表的な鋼種の比較例を図 9 に示す。連铸化により冷延向低炭素鋼リムド代替では約 85×10^3 kcal/t-slab、厚板向 40 kg/mm² セミキルド代替鋼で約 70×10^3 kcal/t-slab 多くエネルギーを消費する。キルド鋼は一貫歩留差だけ省エネルギーとなる。リムド鋼の例では製鉄所内消費エネルギーメリット 121×10^3 kcal/t-slab は合金鉄エネルギーディメリット 85×10^3 kcal/t-slab と相殺され、省エネルギー量の合計は 36×10^3 kcal/t-slab と小さくなる。したがってとくにリムド代替連铸鋼では合金鉄の節減が省エネルギー上重要となる。

以上のように連铸鋼は歩留を含む省エネルギー上大きな効果を期待できるが、連铸機建設費が比較的高いため既存設備との関連、対象鋼種、サイズ、省力化など広い観点から採用が決められることになる。この固定費高は連铸機の生産性向上によつて解消されることから各社増産に努力している。新日鉄大分では 76 年 12 月 1 マシン 25 t/月を達成²³⁾し連铸生産性に対する従来の常識を大きく変えた意義は大きい。

図 10 に 77 年 IISI アンケート²⁴⁾による連铸化の動向を示すが、過去 10 年の連铸化は急激で、また将来も着実に連铸化比率は上昇すると予想しており、これは省エネルギー効果のみならず将来の鉄鋼生産設備投資にも影響をもたらすことになる。

3.2 熱エネルギーの回収および節減

3.2.1 転炉排出ガスの顕潜熱の回収

転炉排ガスの顕潜熱の回収方式は転炉上部の煙道にボイラーを配し CO ガスを強制燃焼させ顕熱を蒸気として回収する方式と、排出ガスを CO のまま潜熱として回収する生ガス回収方式の両者が一般的である。図 11 に燃

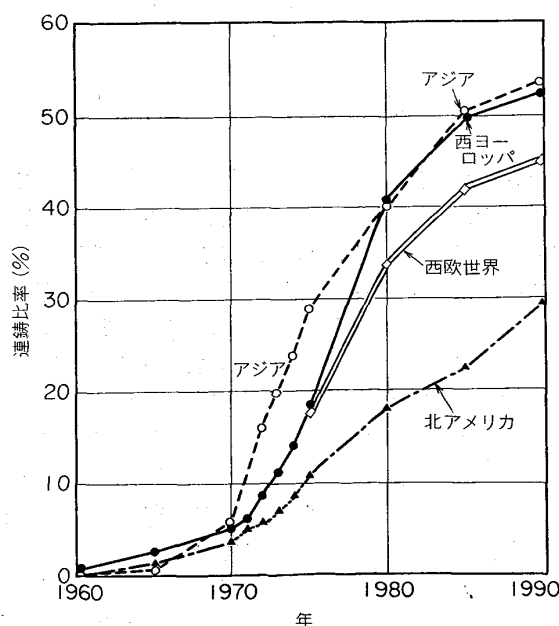


図 10 世界の連铸比率実績と今後の予想

表4 ボイラー方式と OG 方式のエネルギー回収比較

工 場	鋼管 水江	鋼管 福山 ILD	鋼管 扇島
排ガス装置 転炉エネルギー 回収効率 等価OGガス量	フル ボイラ 80 t 蒸 気 0.25t-steam/t-steel 190×10 ³ kcal/t-steel 71.6% 95Nm ³ /t-steel	ハーフ ボイラ 180 t 蒸 気 0.19t-steam/t-steel 128×10 ³ kcal/t-steel 46.7% 64Nm ³ /t-steel	OG 250 t ガス 93.9Nm ³ /t-steel (78.1) 188 71.0% —
備 考	ボイラー出口排ガス 温度約 550°C	ボイラー出口排ガス 温度約 1000°C	回収ガスは 2000kcal/Nm ³ 換算値

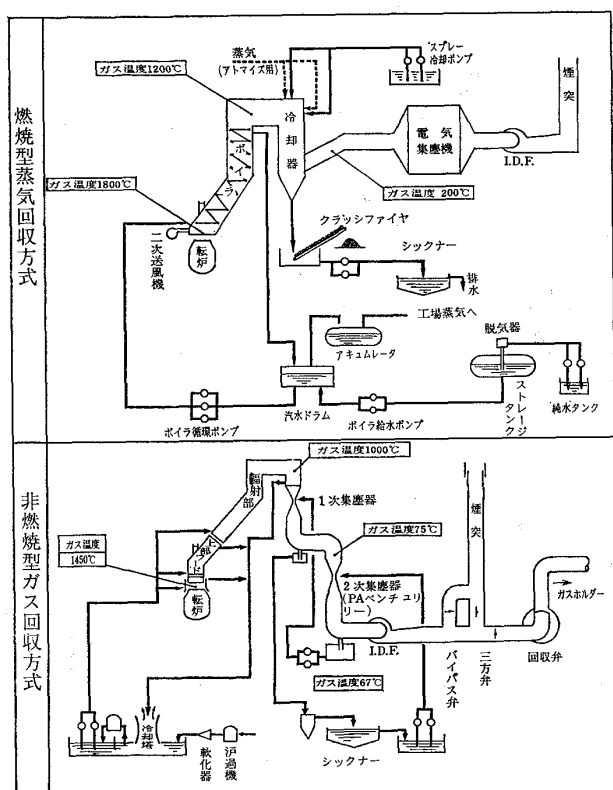


図11 燃焼型非燃焼型転炉排熱回収装置概要

焼型（ハーフボイラー）、および非燃焼型（OG）方式の概略図を示す。表4にボイラー方式およびOG方式のエネルギー回収効率を示す。ハーフボイラーは別としてフルボイラーのエネルギー回収効率は71.6%で比較的高い。しかしOGガスの回収効率も回収技術の進歩でボイラー方式を追い越すところまできている。最近建設された転炉の排ガス処理方式はOG方式を採用しているが、この理由としてボイラー方式は建設費、保守費用が高く、かつ操業が複雑なこと、一方OGガス回収方式は未燃ガス回収のため排出ガス量が少なく除塵に有利なこと、および無公害ガスとして用途の広いことなどがあげられる。したがってここでは最近のOGガス回収向上技術の進歩について述べる。OGガスは溶銑中のCによって発生するので理論的には転炉の溶銑配合率と相関がある。

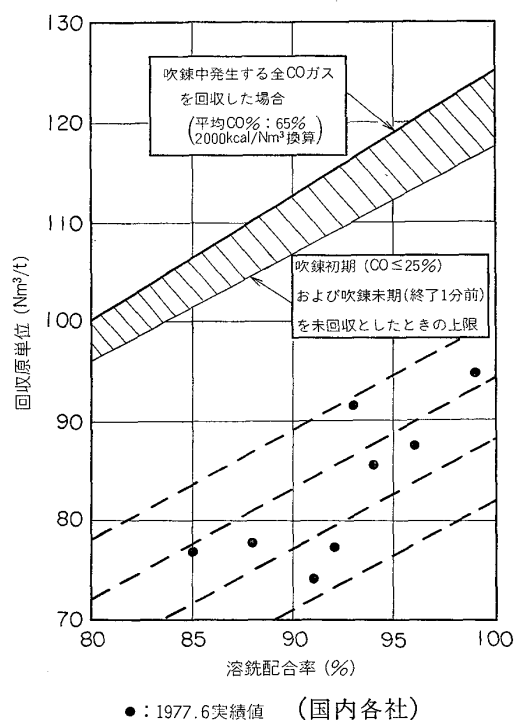


図12 溶銑配合率の変動に対する回収量の変化

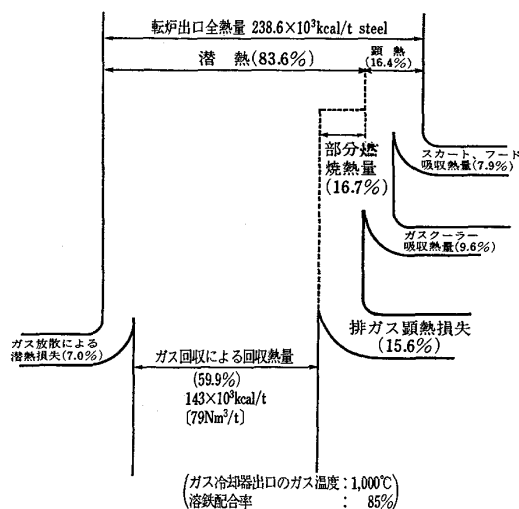


図13 OG装置の熱バランス

溶鉄配合率と平均CO濃度 65% における理論回収値および国内代表工場の実績値を図 12 に示す。1977年11月新日鉄君津の 112.8Nm³/t、および 77 年 8 月川鉄千葉 QBOP の 108.2Nm³/t などが回収量の記録となっているが、図からわかるように多くの工場では理論上限値と実績値にはかなり差があり回収率向上の可能性は大きい。図 13 はOG装置熱バランスの一例を示すが²⁵⁾、回

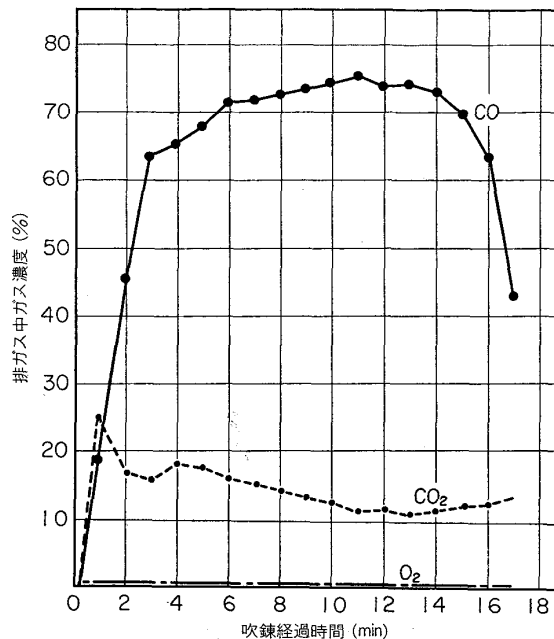


図14 転炉吹錬中の排ガス成分の変化

収率向上は部分燃焼の減少、およびガス放散による潜熱損失をいかに防止するかにある。一般に転炉吹錬中におけるOGガス組成は図 14 のように変化する。すなわち吹錬初期および末期は低CO濃度でかつ O₂ が混入する場合があるので安全にガス回収が開始できるのは吹錬開始後 2～3 min であり、ガス回収終了時期は三方切替え弁、水封逆止弁の作動に 20～30 sec を要するので吹錬終了約 1 min 以上前に終了させる必要がある。

表 5 に最近実施されたOGガス回収向上対策を示す²⁶⁾。主な対策としては total ガス回収量増加のための回収CO%下限変更、回収時間の延長、計測機器の信頼性向上、分析時間遅れの短縮、回収ガスCO濃度向上のためのフード内圧力制御技術、および吹錬開始後の早急なCO濃度上昇のための吹錬方法などがあげられる。OGガスは熱バランスでも示す通りガスホルダーの容量不足あるいは回収条件の不適當によつて放散塔より燃焼放出する場合がある。この原因調査ではホルダーレベル上限 53.8%、設備故障 26.8%、転炉側原因(スロッピング大発生流量低下およびCO低下など) 19.4% となっている。転炉操業側ではこれに対し O₂ 吹錬パターンの適正化、ランスノズルの選択、ランス高さと吹錬パターンの適正化および鉄鉱石早期投入完了などの対策がとられている。一方回収量増大によつてホルダー容量の拡大、送り出しブロック能力の適正化およびOGガス使用用途の拡大が必要になってきている。OGガスは従来より均熱炉、石灰焼成炉、および蒸気発生燃料として使用されて

表 5 OG ガス 回 収 率 向 上 対 策

設 備 区 分	対 策 項 目																				
転 炉	(1) 回収条件の変更 (例)																				
	<table><tr><th>項 目</th><th>旧 条 件</th><th>新 条 件</th><th>検 討 内 容</th></tr><tr><td>CO%</td><td>≥55%</td><td>≥35%</td><td>CO の立上り速度と時限のタイミングおよびスタック着火状況</td></tr><tr><td>CO% 成立後時間</td><td>2 min</td><td>0.5 min</td><td>回収放散切替時間と CO% のハンチング状況</td></tr><tr><td>O₂%</td><td>≤1.0%</td><td>同</td><td></td></tr><tr><td>時 限</td><td>3～12 min</td><td>3～14 min</td><td>吹錬末期の N₂ 稀釈時間見直し</td></tr></table>	項 目	旧 条 件	新 条 件	検 討 内 容	CO%	≥55%	≥35%	CO の立上り速度と時限のタイミングおよびスタック着火状況	CO% 成立後時間	2 min	0.5 min	回収放散切替時間と CO% のハンチング状況	O ₂ %	≤1.0%	同		時 限	3～12 min	3～14 min	吹錬末期の N ₂ 稀釈時間見直し
	項 目	旧 条 件	新 条 件	検 討 内 容																	
	CO%	≥55%	≥35%	CO の立上り速度と時限のタイミングおよびスタック着火状況																	
	CO% 成立後時間	2 min	0.5 min	回収放散切替時間と CO% のハンチング状況																	
	O ₂ %	≤1.0%	同																		
	時 限	3～12 min	3～14 min	吹錬末期の N ₂ 稀釈時間見直し																	
	(2) スカート間隔およびフード内圧力制御のきめ細い調整																				
	(3) ラップ吹錬の中止																				
	(4) 計器の保全強化, 分析時間おくれの短縮																				
(5) 設備変更 (IC→OG)																					
(6) ガス回収操作の工夫																					
(7) スロッピング減少対策 (吹錬パターン, ランスノズル, 鉬石投入法)																					
ホルダー配管	(1) ホルダー制御レベルの変更																				
	(2) BFG への混合																				
	(3) ホルダー改造, 新設																				
使 用 先	(1) 使用先負荷増加 (含プロダクト新設)																				

表 6 OG ガスおよび Coker ガスの成分例

成 分	OG ガス	Coker ガス
CO	65.17%	16.5%
CO ₂	12.07	7.8
H ₂	2.00	12.4
N ₂	17.53	48.0
O ₂	0.23	—
CH ₄	—	10.8
C ₂ H ₄	—	4.2
CnHm	—	0.5
SO ₂	0.5ppm	15ppm
発 熱 量	2 110kcal/Nm ³	2 500kcal/Nm ³

いるが、最近では設備工事費の比較的少ない B F G への混入が多くなされている。鋼管扇島では所内発電所に O G ガス専焼バーナーを設置している²⁸⁾。O G ガスは転炉がバッチ操業で、ガスの安定供給に問題があったが、隣接する石油精製プラントより O G ガスに近いカロリーの coker ガスの供給を受けることによってこれを解決した。O G ガスおよび coker ガスの代表成分および発熱量を表 6 に示す。両者とも S 分が少なくクリーンガスのため環境対策に大きく役立つ。

O G ガスエネルギー回収向上対策として従来の排ガス潜熱のみの利用に加え、煙道にボイラーを配し、蒸気を回収する方式も採用された。今後のエネルギー価格いかんでは既存装置の改造も行なわれることになる。

3.2.2 溶銑，溶鋼の頭熱保持

鋼管では溶銑の輸送に混銑炉なしオープンレール直送方式の特徴ある操業で溶銑温度低下防止をはかっている²⁸⁾²⁹⁾。従来高炉より出銑された溶銑は転炉装入前いつたん混銑炉へ保持されていたが、次のような技術的進歩により混銑炉を不要とした。①高炉の大型化および操業技術の進歩により安定した溶銑成分が得られるようになり混銑の意味がうすれてきた。②高炉-転炉間の溶銑鍋管理をシステム化し、溶銑鍋の効率化がはかられた。③溶銑装入およびスクラップ装入クレーンの統一化、および修理のスケジュール化による転炉休止時間の短縮、④転炉装入溶銑温度および成分の急激な変化にも対応可能な転炉吹錬自動化技術の開発、この結果図 15 に示すように転炉装入までの溶銑温度降下を約 30°C 少なくし、約 6 000kcal/t-pig、さらに混銑炉保熱 C ガス不要による 9 000kcal/t-pig を加え、15 000kcal/t-pig の節約が可能となった。

溶鋼の保温対策として川鉄水島では出鋼後取鍋に蓋をのせ図 16 に示す効果を得ている³⁰⁾。鑄造末期の温度保証を前提にすると出鋼温度を約 15~20°C 低下させることが可能で約 4 000kcal/t-steel の省エネルギーとなる。

造塊工程における残湯処理は通常処理鑄型に鑄込み、転炉へリターンしていたが、新日鉄室蘭では造塊ヤードに溶銑を適量入れた取鍋を置き、それに残湯を注入し、

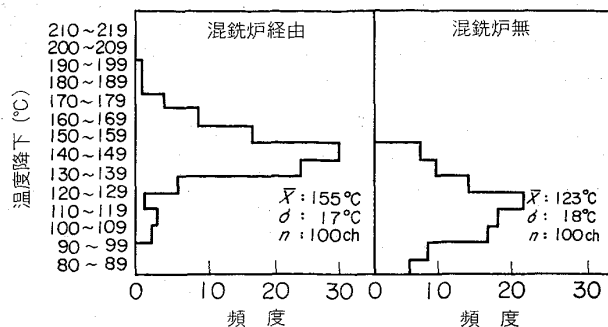


図 15 出銑-転炉装入溶銑温度差比較

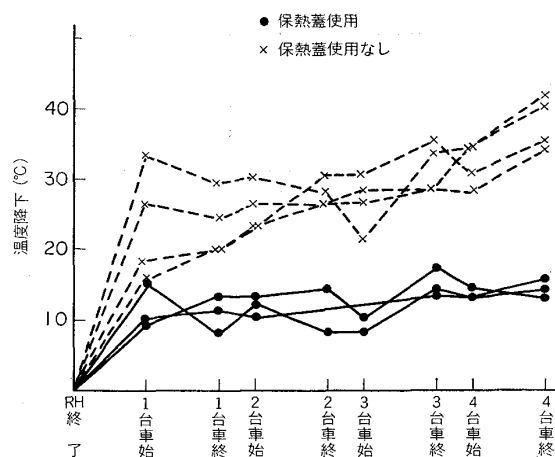


図 16 RH 終了温度と溶鋼流温度差の推移

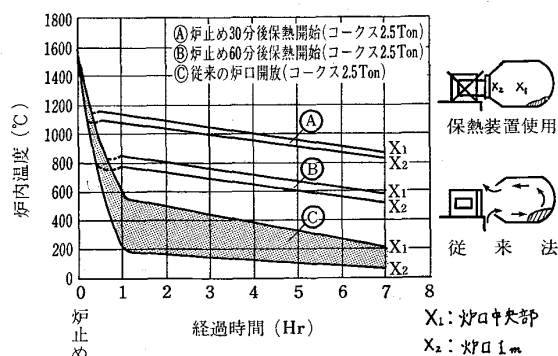


図 17 保熱装置使用有無による炉内温度推移の比較

混銑炉または転炉へ装入する方式とし、残湯のエネルギーを有効に生かすと同時に残湯処理作業を省略している。鋼管福山では転炉炉容大型化にともなつて発生する大型残塊 (6~9 t) を温塊状態で転炉へ装入し、転炉吹錬における未溶解の発生防止と省エネルギーに役立たせている³¹⁾。

3.2.3 その他の省エネルギー

新日鉄八幡では転炉休止時に炉口を密閉する保熱装置を取りつけ省エネルギーに寄与している³²⁾。図 17 は装置使用有無による炉内温度推移の比較を示すが、炉休止後 7 時間で従来法に比べ 700°C も高温に保たれる。この結果月平均約 0.6% の歩留向上および酸素節減 0.53

Nm³/t-steel の効果が得られている。

製鋼工程の未利用排熱で大きなものとして転炉スラグの顕熱が残っている。鋼管福山の例では製鉄所内未利用排熱ランク 11 番目で約 60 000kcal/t-steel のエネルギーを有している。高炉スラグも含め製鉄熔融スラグの顕熱利用に関する idea は数多く提出されているが、まだ工業化された例はない。最近新日鉄では高炉スラグを風砕し、砂を作る技術を開発したが、この際熔融スラグの排熱も高温空気として資源化できると言われている。このような技術が近い将来転炉スラグにも適用されることになる。

3.3 動力エネルギーの節減

製鋼工程における使用エネルギーの種類をみると、図 18 に示すように精錬用酸素を除くとほとんどが電力である。この電力を用途別に分類してみると図 19 に示したごとくであり、最近の環境保全に関する規制強化と作業環境改善に伴う環境設備に使用されるのが大半で約 10 kWh/t-steel にもなっている。しかも、これら環境設備用電力使用量は工場の立地条件にもよるが、今後とも増加の方向にある。

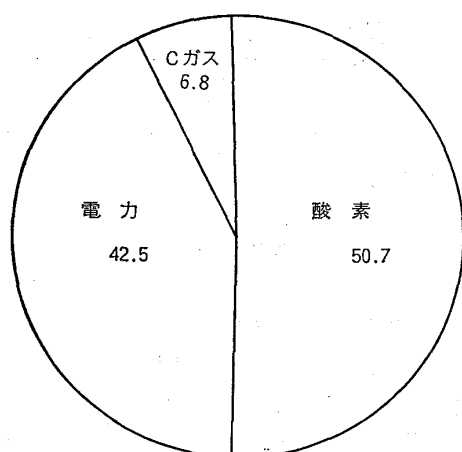


図18 転炉エネルギー種類別構成

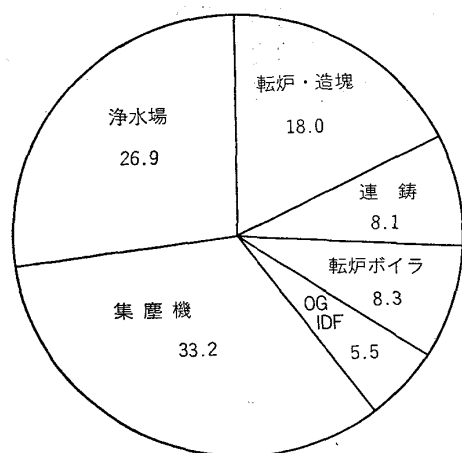


図19 転炉工場の用途別電力使用構成

したがって、製鋼工程における動力エネルギーの節減は環境設備（集塵設備）に関連するものが多い。転炉周辺の集塵所要風量は転炉の作業に大きく左右されるため、一定風量での集塵設備運転では風量の過不足を生じ、むだな電力を使用する結果となる。したがって、省電力対策としては適性風量での運転（風量制御運転）が採用されている。

ブロウにおける風量と所要電力との間には次の関係がある。

$$kW = V \cdot \Delta P / 6120$$

$$\Delta P = l/d \cdot \lambda \cdot f \cdot v^2 / 2g \cdot \gamma \quad (v = V/d)$$

ここで、kW：ブロウ所要電力

ΔP ：ブロウ昇圧力（または圧力損失）

l ：配管長さ

d ：配管直径

λ ：管摩擦係数

f ：配管形状による係数

v ：流速

g ：重力加速度

γ ：流体密度

つまり $kW \propto V^3$ となる。例えば、送風量を 80% まで減らすと所要電力は約 50% で済むことになる。

このように風量制御は省電力効果が大きいことがわかる。

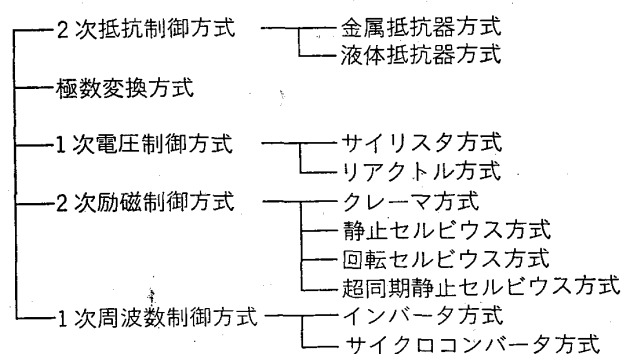
風量制御方式は次のように分類される³³⁾。

(1) 機械的制御

① ダンパーによる風量調節

② 流体接手によるブロウ回転数制御

(2) 電氣的制御



上記の各風量制御方式別の消費電力比較を図 20 に示す。実機としては転炉周り集塵装置に対して新日鉄名古屋では静止セルビウス方式が³⁴⁾、新日鉄堺では 2 次抵抗（液体抵抗）方式が採用されており³⁵⁾大きな効果をあげている。

3.4 電気炉鋼の転炉鋼化

電気炉鋼は比較的建設費が安価なことから小規模の鉄鋼生産に向いており、1976 年度（日本）では 18.7% も生産されている。電気炉製鋼法はスクラップのエネルギー評価を 0 とすれば約 1.7×10^6 kcal/t-製品 で製造でき

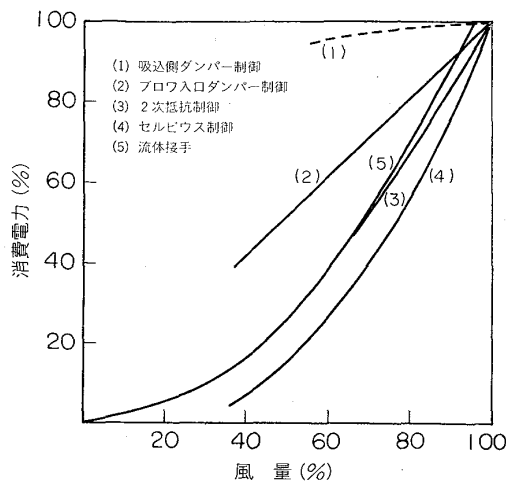


図20 風量制御方式と消費電力

溶銑-転炉法の約 $3.59 \times 10^6 \text{kcal/t}$ -製品 に比べエネルギー消費は少ないと言われている。しかし溶鋼の顕熱約 $340 \times 10^6 \text{kcal/t}$ に対するエネルギー効率は約 21% と低い。これはスクラップの溶解に要する電力エネルギー効率の低さによる。一方転炉製鋼法でのスクラップ溶解は溶銑の顕熱で行なわれ、溶銑熱源に余裕のある溶銑配合率約 75% 以上では 90% 以上の熱効率が得られる。特殊鋼用に電気炉を設置している一貫製鉄所では電気炉鋼の転炉鋼化が重要な省エネルギー対策としてとりあげられている³⁶⁾³⁷⁾。また転炉のみでは電気炉鋼種の代替には限界があるので最近では炉外精錬法との組み合わせによつて鋼種の拡大をはかっている。この組み合わせとしては LD-VAC³⁸⁾, LD-ASEA-SKF³⁹⁾, LD-VAD⁴⁰⁾, LD-RH-OB 法⁴¹⁾などがある。図 21 に LD-VAC 法による SUS 430 の溶製工程を示す。

4. 製鋼用原料資材の省エネルギー

4.1 合金鉄の節減

製鋼工程で使用する合金鉄は先にも述べたようにコストおよびエネルギー消費量とも大きく各製鋼工場で多くの工夫がなされている。

まず転炉出鋼時に取鍋内へ排出される酸化スラグは合金鉄歩留を低下させるので、極力カットする必要がある

表7 スラグカット有無による合金鉄歩留差

合金成分	鋼種グループ	歩留差 (スラグカットあり-スラグカットなし)	n 数 (チャージ)
Al	中高炭素キルド鋼	+2.5%	110
	低炭素アルミキルド鋼	+4.8	52
Mn	中高炭素キルド鋼	+0.6	110
	低炭素アルミキルド鋼	-0.7	52
Si	中高炭素キルド鋼	+1.4	110
	低炭素キルド鋼	+2.5	50

種々の技術が開発されている^{42)~45)}。これらの技術のうち石灰投射スラグカット方式と従来法の合金鉄歩留差を表 7 に示す。歩留におよぼすスラグカットの効果は Al で著しく、ついで Si の順になっている。

スラグカットは合金鉄歩留のほか取鍋耐火物の溶損防止にも効果があり、また炉外精錬鋼種では出鋼温度の上昇と溶鋼の長時間取鍋内滞留による復 P 防止および溶鋼 [O] 低下のため必要性が増大している。

Al は製鋼工程で多くの鋼種に使用され、単価も高く、また図 22 に示すごとく使用原単位は年々増加している。

以下に Al の添加歩留安定化対策を主体に合金鉄節減について述べる。

対策としては①鉄パイプ中にあらかじめ Al を溶解しておき、鍋内にセット後出鋼する方法、② Al を鉄棒の先端につけ溶鋼中へ押し込む方法、また③住金と歌山では自動 Al 弾投射機を開発し、Al の溶滓層での酸化を防止している⁴⁶⁾。このほか④取鍋内での sol. Al コントロール法として鋼管では Al-Wirefeeder 法を開発した⁴⁷⁾⁴⁸⁾。⑤川鉄ではスラグフェンス法を開発し歩留をあげている⁴⁹⁾。

新日鉄大分では従来高級鋼に使われていた RH 脱ガス法を連铸量産鋼種に適用し月間約 30 万 t の溶鋼処理を行ない、固定および変動費の低下と図 23 に示すように合金鉄歩留を著しく向上させ、約 500 円/t の合理化を

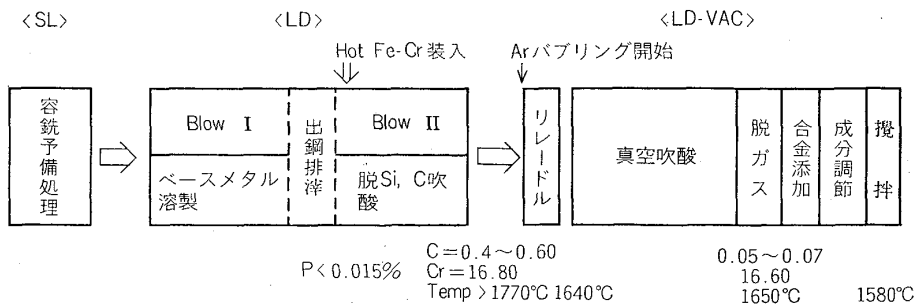


図21 LD-VAC SUS 430 の溶製工程

はかっている⁵⁰⁾。すなわち合金鉄は真空槽中の溶鋼へ添加されるので Al については取鍋添加にくらべ低炭素 Al キルド鋼で約 40% 減、および Fe-Mn は使用原単位低減のほか脱ガスにより低価格の高炭 Fe-Mn が使用でき

る。この結果鑄片の品質レベル（介在物欠陥）も大巾に向上すると報告している。この技術は造塊リムド鋼の連鑄化に際し合金鉄分割高となる対策の解決策として注目に値する。

4.2 生石灰の節減

転炉で使用する生石灰もエネルギー多消費製品であり。この節減は省エネルギーのほか歩留向上およびスラグ発生量の減少など多くの効果が得られる。転炉の生石灰は一定の塩基度を確保して脱 P, S を促進するため使用される。したがって生石灰使用量減には input の P, S, Si の低下が条件となり、これについては製鋼努力より前工程の溶銑成分安定化が前提となる。生石灰は溶銑 Si% に比例して添加されるので Si% 高はスラグ量増となり、炉体耐火物侵食を増す。製鋼工程を含む一貫合理化の推進から最近の溶銑成分は製鋼にとって好ましい値

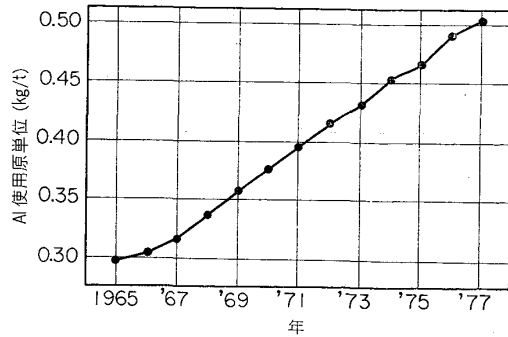


図22 日本鉄鋼業における Al 使用原単位の推移

項 目	比 較	説 明	備 考
・吹止〔C〕 ・吹止〔Mn〕 ・出鋼前温度 (吹止温度)	 吹止〔C〕 吹止〔Mn〕 出鋼前温度		吹止〔C〕がアップしたことにより、吹止〔Mn〕が上昇した
・成品〔T・A〕のパラッキ ・合金原単位	 成品〔T・A〕のパラッキ Al 原単位比 Fe-Mn 原単位比		成品〔T・A〕のパラッキが減少した。また合金鉄原単位が減少した。

図23 RH軽脱ガス材と一般材の比較

表8 低生石灰操業の諸効果

項 目	値	波及効果	値
スラグボリュームの減少	40 kg/t-steel	産業廃棄物の減少	40 kg/TS
		熱損量の減少	$1.95 \times 10^3 \text{ kcal/t-steel}$
(MgO) Slag の減少	0.38 kg/t-steel	転炉寿命の延長 (現状1100回/炉)	1.56 倍 (1700回)
(Mn) Slag の減少	1.5 kg/t-steel	FeMn 原単位の低減 (吹止〔Mn〕の up)	0.55 kg/t-steel (0.037%)
		脱酸用 Al 原単位の低減	0.02 kg/t-steel
(TFe) Slag の減少	8 kg/t-steel	出鋼歩留の向上	0.8%
吹錬酸素効率の向上	2.7Nm ³ /t-steel	吹錬酸素原単位の低減	2.7Nm ³ /t-steel
		吹錬時間の短縮	1.1 min/ch

になつてきており、とくに Si% 0.4% 台に低下した高炉も出現し高溶銑配合時における生石灰使用量増を阻止している。Si 0.1% の低下で 12 200kcal/t-steel の省エネルギー効果を生ずる。

神鋼加古川では生石灰原単位低減について検討し、50 kg/t の原単位を 30 kg/t に低減した場合の転炉操業上の諸効果を表 8 のようにまとめている⁵¹⁾。生石灰節減 20 kg/t は計算可能な省エネルギーのみで 70 000kcal/t 以上で、鋼製造エネルギーの 1% 以上を占めることになる。

住金鹿島では高溶銑配合操業時従来の鉄鉱石冷却を石灰石冷却に変え生石灰焼成に要するエネルギーコストを低減したと報告している⁵²⁾。しかし一方では鉄鉱石減による歩留減のデメリットもあるのでこれについては種々の条件を勘案のうえ決定されるべきであろう。

4.3 脱 S 剤の節減

溶銑の脱 S は高炉における高 S 重油の使用、鋼の品質の高級化などにより製鋼工程のコストは上昇するが製銑より製品までの一貫工程メリットおよび低硫鋼必要性の

増大により最近大巾に処理量が増加してきている。この一例を図 24 に示す⁵³⁾。しかし脱 S 剤の主体である CaC_2 もエネルギー多消費製品でコストが高いため安価な脱硫剤の開発が望まれていたが、最近機械攪拌脱 S 剤として生石灰粉に C, CaF_2 を適当量配合した低コストの脱 S

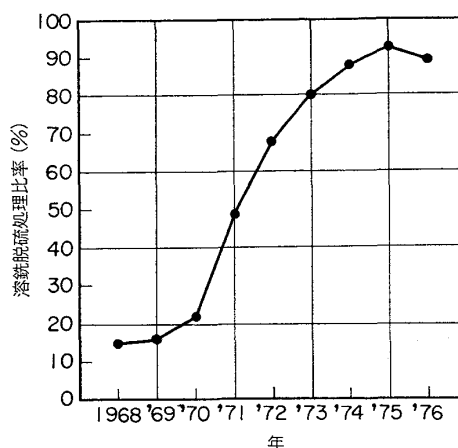


図24 溶銑脱硫処理比率の推移 (住金の例)

表 9 製鋼工場における耐火物の使用状況ならびに耐火物製造エネルギー一覧

耐火物種類	用途	使用量 (kg/t-steel)	耐火物製造エネルギー (耐火物製造+耐火物原料製造エネルギー) ($\times 10^3$ kcal/t)
珪石	電気炉		2 700~3 200
粘土質 (Al_2O_3 33~43%)	取鍋, タンディッシュ裏張, タンディッシュ平均 1.1 定盤, 混銑炉, 混銑車, 定盤 3~5		2 000~3 000
ろう石 (焼成)	取鍋	2~4	900~1 300
高アルミナ (Al_2O_3 65~75%)	混銑炉, 取鍋	—	8 000~11 000
塩基性クロマグ (MgO 35%) (不焼成) マグクロ (MgO 70%) マグネシア (MgO 93%) 塩基性クロマグ (MgO 35%) (普通焼成) マグクロ (MgO 70%) マグネシア (MgO 90%) 塩基性マグクロ (MgO 75%) (高温焼成) マグネシア (MgO 98%)	電気炉 電気炉, 混銑炉 電気炉, 炉外製錬炉 取鍋製錬	進捗は各種各様で 操業上の影響から 使用量に大きな差 があり。	2 000 4 000 6 000 3 500 6 000 8 000 9 000 12 000
ドロマイト不焼成 (MgO 56%) 〃 普通焼成 (MgO 56%) マグドロ高温焼成 (MgO 80%)	転炉 転炉, 炉外製 転炉, 電気炉, 炉外製錬炉	転炉平均 1.7	5 000 10 000 13 000
高純度アルミナ (Al_2O_3 90%)	炉外精錬炉 (スライディン グノズル) (スライディ ングノズル) 0.1~0.2 浸漬ノズル		20 000~21 000
〃 シリカ ($\text{SiO}_2 > 90\%$)	連鑄, 浸漬ノズル	<0.1	15 000
吹付材 (MgO 86%)	転炉, 電気炉, 取鍋, 転炉	<3	5 500~6 000
スリンガー材 {高珪酸 セミシロン	取鍋	<3	30
焼石灰			1 300~1 400
軽焼ドロ			1 250~1 350

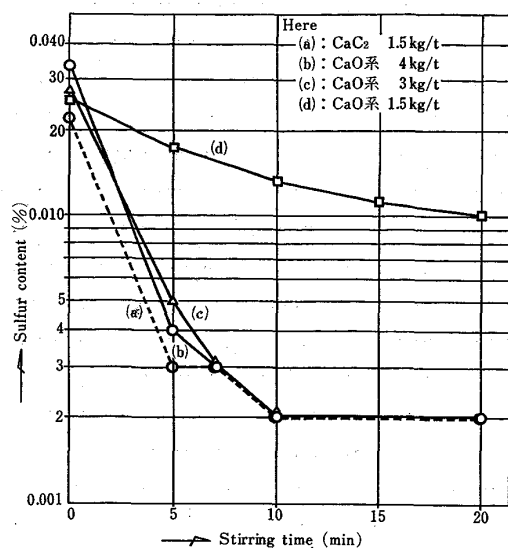
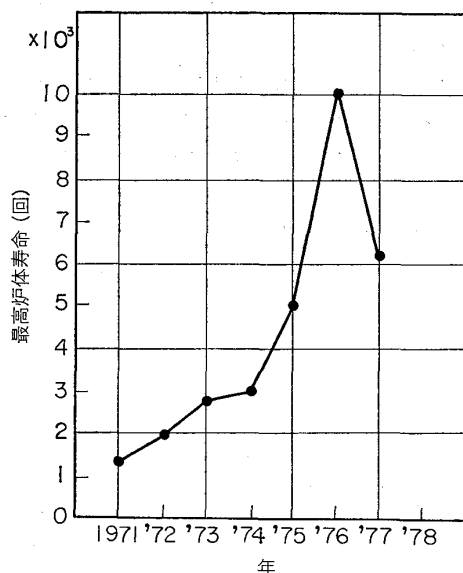


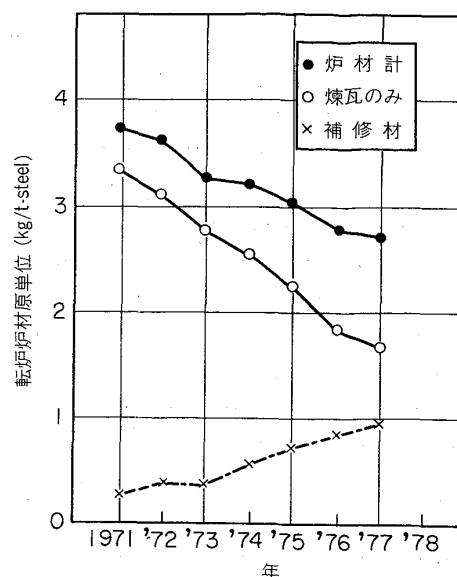
図25 攪拌時間と[S]含有量

図26 最高転炉炉体寿命の推移
(1977年データは1~9月の値)

剤の開発が報告された⁵⁴⁾。生石灰にCを添加することにより反応界面を還元雰囲気維持し、反応生成物の移動速度をCaF₂添加によつて達成し、生石灰単味では不可能な高速反応を可能としている。CaC₂と同一Sレベルを得るには約2倍の新脱S剤を要するが、CaC₂にくらべ約1/4の低コストなのでCaO系脱S剤コストは約1/2になると報告されている。新脱S剤の効果を従来品と比較し図25に示す。

4.4 耐火物の省エネルギー

表9に製鋼工場で使用される主要耐火物の種類、用途使用量および耐火物製造に要するエネルギー消費量を示した。製鋼過程で耐火物による省エネルギーをはかるには、①耐火物使用原単位の節減、②エネルギー多消費耐火物より低製造エネルギー耐火物への転換、が考えられ

図27 転炉炉機原単位の推移
(1977年データは1~9月の平均値よりの推定値)

る。製鋼工場で実際行なわれている事例を以下に挙げよう。

4.4.1 転炉耐火物

耐火物の省エネルギーの顕著な例として転炉耐火物が挙げられる。1971年よりのわが国転炉工場の転炉寿命年間最高記録の推移を図26に、またわが国の全転炉の炉材平均原単位の推移を図27に示す。この発展に大きく寄与した技術としては鋼滓中へのドロマイトの添加および熱間吹付補修法の進歩が第一に挙げられる。図27の破線で示される補修材の大部分は熱間吹きつけ材であり、この使用量は年々増加しているが煉瓦原単位は補修材の増加以上に激減していることがわかる。現在わが国の転炉では焼成ドロマイト煉瓦および高温焼成マグドロ煉瓦の使用が主体であり、省エネルギー効果の大きいことが示される。なお表9には転炉で煤溶材として用いる生石灰、軽焼ドロマイトの製造エネルギーを付記したが、軽焼ドロマイトの製造エネルギーは煉瓦の約1/10であり、軽焼ドロマイト使用量の約65%は生石灰使用量減とすることができるので、ドロマイト添加量に省エネルギー上の限界はあるが実用上の問題にはならない。軽焼ドロマイト添加量としては一般に約20 kg/t・Steel使用されており、約15 kg/t・steelの使用で炉体寿命は1.5倍程度の延長の評価が行なわれている。すなわちドロマイトを添加しない場合の転炉煉瓦原単位を3 kg/t・steelと仮定するとドロマイト添加により煉瓦原単位1 kg/t・steelの低減が可能で、省エネルギー効果とすれば約6000 kcal/t・steelと評価される。

転炉の寿命は生産鋼種に左右されるが操業条件の影響も少なくない。吹止め温度、終点C、終点スラグ中TFe、再吹率、ほたる石使用量、溶銑中Si濃度、製鋼時間などにより、煉瓦消耗量に大きな影響のあることはよく知

られている⁵⁵⁾。

一方エネルギー価格の急騰により転炉用耐火物の中、焼成煉瓦は不焼成煉瓦に比べ、価格の上昇が激しかった。このため一方では寿命延長を行なわなくとも焼成煉瓦使用比率を下げた方がコスト的に有利となる条件も生まれ、省エネルギーに寄与している。焼成比率 56% から 42% へ下げることにより約 1500kcal/t-steel の節約が行なわれたとする例³¹⁾や全不焼成煉瓦によりドロマイト添加や吹きつけ補修を行わずに約千回の平均寿命を継続して維持している例⁵⁵⁾もあり、長寿命のみが最良の省エネルギーの方法とは限らないことを示している。

4.4.2 造塊用およびその他の耐火物

溶鋼の鑄込装置として従来より Nozzle Stopper 方式が採用されて来たが、取鍋の大型化、高温出鋼、長時間溶鋼保持などによる Stopper 方式の限界に加え、造塊の鑄鍋準備作業の環境改善、省力化、原価低減を図る目的で Sliding nozzle が開発され急速に普及した。従来の方式と Sliding nozzle (Rotary 方式) についての耐火物エネルギー比較の例を表 10 に示す。Rotary nozzle 用耐火物は主として高純度アルミナにより構成されるため製造エネルギーは高いが消費量は少ないので省エネルギー効果を与え得ることを示す。さらに Rotary nozzle 採用により鑄込作業が安定し (事故率 0.7%→0.02%)、歩留向上による副次的省エネルギー効果を挙げている。

不定形耐火物による省エネルギーの例として表 11 に取鍋ライニング耐火物の相違による耐火物消費エネルギーの差を示した。煉瓦はろう石のみを使用し、Slinger 法では約 40% Zircon sand を含む珪砂を Sling mass と

して用い、ライニングの局損部熱間補修材として Magnesite 質の吹きつけ材を利用した場合の例である。取鍋ライニングへの不定形耐火物の適用例としては、Slinger 法の他に自動スタンプ法、流し込み法などが実用化されている^{56)~58)}。表 11 の値から単純に計算を行えば、ろう石煉瓦原単位 1.7 kg/t-steel で消費エネルギーが見合うことになり、さらに省力化や労働環境を考慮する時、取鍋ライニングの不定形化はさらに進むものと考えられる。製鋼における耐火物の不定形化はこの他、混鉄炉の中間補修連鑄用タンディッシュの裏張、タンディッシュの Coating 材、電気炉炉壁の熱間補修、電気炉天井ライニング、真空脱ガス槽やシュノーケルの補修などに行なわれており、ますますその利用比率を高めつつある。製鋼工場で使用される耐火物の中、転炉の出鋼口、電気炉の hot spot 部、炉外精錬炉のスラグライン部、真空脱ガス槽の底部などには電融マグネシア煉瓦が、また、Sliding nozzle のスライド部分、連鑄用浸漬ノズル、炉外精錬炉のライニングなどは電融アルミナを主原料とする高純度アルミナが用いられており、これらは電気の高エネルギー消費材料である。これらについても、操業上の工夫や、不定形材料による補修などにより、使用回数を増やし、原単位低下の努力が行なわれている。

4.5 転炉スラグの有効利用

転炉スラグ、転炉灰、および古煉瓦などの回収利用は省資源対策として行なわれているが、広義の省エネルギー対策でもある。ここではその一例として転炉スラグの利用状況を表 12 に示す⁵⁹⁾。

表10 Nozzle stopper および Rotary nozzle 方式の耐火物消費エネルギー

項 目	Nozzle stopper 方式 (A)	Rotary nozzle 方式 (B)	差 (A) - (B)
耐火物製造エネルギー (製造+原料)	2 300×kcal/ kg	8 540×kcal/ kg	-6 240kcal/ kg
鋼塊トン当り耐火物消費量	1.0 kg/ t	0.15 kg/ t	+0.85 kg/ t
鋼塊トン当り耐火物製造エネルギー	2 300kcal/ t	1 280kcal/ t	1 020kcal/ t

表11 煉瓦法と Slinger 法の耐火物消費エネルギー比較 (福山 ILD)

項 目	煉 瓦 法 (A)	Slinger 法 (B)	差 A - B
鋼塊 10 万 t / m 当り必要人員 耐火物製造エネルギー (製造+原料)	20 人 950kcal/ kg 製品	7 人 30kcal/ kg 製品	+13 人 +920kcal/ kg 製品
耐火物使用量/t-steel 耐火煉瓦 Sling Mass 計	3.01 kg/ t 3.01 kg/ t	吹きつけ 0.10 kg/ t 0.90 kg/ t 2.1 kg/ t 3.10 kg/ t	-0.1 kg/ t +2.11 kg/ t -2.1 kg/ t -0.09 kg/ t
鍋乾燥 Cgas エネルギー	5 330kcal/ t	5 470kcal/ t	-140kcal/ t
総エネルギー	8 190kcal/ t	6 940kcal/ t	+1 250kcal/ t

表12 製鋼スラグの現状 (各社アンケートより)

項 目	処 理 方 法 比 率				用途比率 (工場比率)			地 金 回 収 工 場 比 率
	埋立工事	高 炉	転炉など	その他	外 販	セメント原料	肥 料	
%	72	12	4	12	38	14	19	76

処理方法としては埋立工事が依然として高い比率を占め、高炉、転炉へのリターンが一部なされている⁶⁰⁾。転炉スラグは相当量の過剰石灰分を含んでおり、これを焼結鉱あるいは高炉へ装入することにより石灰分、Fe 分および Mn 源を有効に利用できる。しかし高炉に装入された転炉スラグ中の P 酸化物はすべて還元されて銑鉄中に移行する。したがって製鉄、製鋼のサイクルを一定量の P が循環することになり、製鋼過程における溶鉄、スラグ間の P の分配率が一定であれば、その最終溶鉄中の P の含有率が増加することになる。鋼中 P を同じに保つためには生石灰の増量が必要で転炉スラグの発生量増加分は高炉へ還元されるスラグ量と同等になる⁶¹⁾。このため一部の工場を除いて積極的には高炉へリターンされていない。これを進めるにはスラグの脱 P 技術または製鋼工程における分配率向上技術の開発が前提となる。川鉄千葉⁵²⁾では上吹転炉および底吹転炉の P、S 分配比の相違を利用し、上吹転炉スラグを底吹転炉へ投入し、所内発生転炉スラグの減少と合理化をはかっている。すなわち 6 kg/t の投入で 0.9 kg/t の鉄源回収と、投入転炉スラグの 15% 減を達成し、脱 P、S は一定に保っている。

転炉スラグはまた路盤材、肥料などにも利用されているが、量的には少なく、土木建築用材としての利用は現在研究中である。なお転炉スラグ中には金属鉄が混入しており大半の工場では何らかの地金選別を行なっている⁶³⁾。地金含有率はスラグ重量比で転炉スラグより 3.6% 造塊スラグより 11%、噴出スラブより 23.4% 回収されるとの報告もある。

5. 分塊工程の省エネルギー

最近の国内分塊工場の均熱炉燃料原単位および歩留の動きを図 28 に示すがともに大きく向上しつつあり、分塊工程の省エネルギーは製鉄所のなかでも重要な位置を占めている。

5.1 均熱炉の省エネルギー

大部分の鋼塊は熱塊で均熱炉へ装入されるが、キルド鋼以外はほとんど内部は未凝固状態である。装入鋼塊の熱度を表わすのに casting 終了から均熱炉装入までの所要時間をもつて「トラックタイム (T.T.)」が用いられる。周知のとおりこれと在炉時間および燃料原単位とは相関があり、標準的な 15~20 t のキャップド鋼塊で、T.T. 1 h 当り 20~50×10³ kcal/t の燃料原単位変化に相

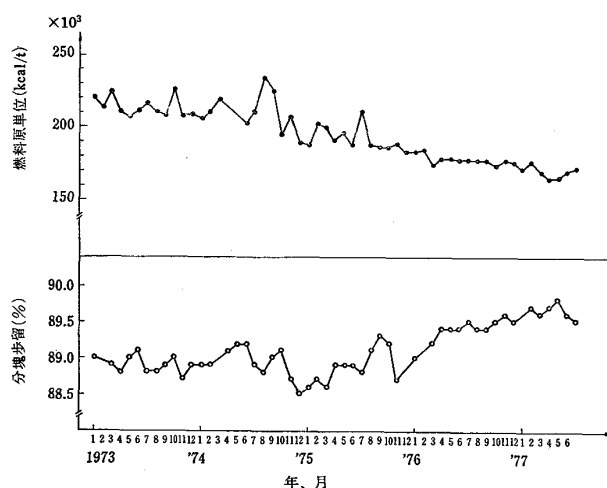


図28 国内分塊工場の均熱炉燃料原単位及び歩留推移

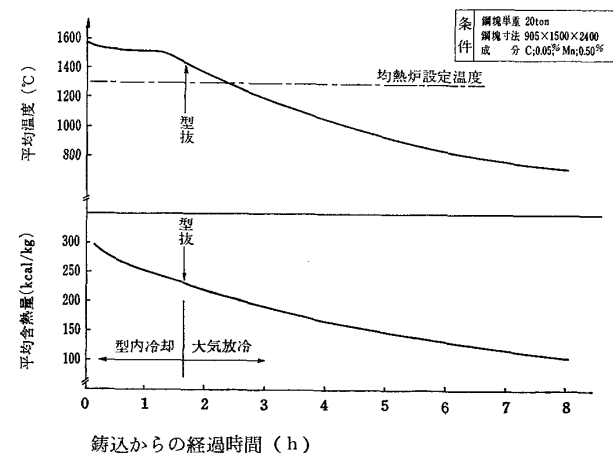


図29 鋼塊の含熱量の経時変化計算例

当する。また図 29 は casting 後の経過時間と鋼塊含熱量つまり平均温度を 2 次元非定常熱伝導モデルで計算した一例で、これによると T.T. をある程度以上短くすると均熱炉の燃料が不要となる可能性を示唆している。

通常大型鋼塊の T.T. は品質的な要求から、すなわちリムド(キャップド)・セミキルド鋼は偏析あるいはパイプの助長を防ぐため、また高 Mn キルド鋼は均熱炉中での鋼塊表層割れを防ぐ目的で、最小限が決められている。したがって、先ず実際に装入される T.T. が規定最小値に対して遅れないような管理(型抜、運搬、情報連絡、炉繰り)がなされ、その結果各製鉄所で平均 10~20 min の T.T. 短縮の実績が上っている。つい最近はリムド(キャップド)、セミキルド鋼の T.T. 最小

表13 ホットチャージ, ダイレクトローリング実施工場¹⁸⁾

区 分	工 場	実 施 量	品 種	区 分	工 場	実 施 量	品 種
ホ ッ ト チ ャ ージ	新日鉄・堺	17 000 t/m	形 鋼	ダイレク トロー リング	新日鉄・名古屋	53 000 t/m	ストリップ
	〃・広畑	19 000	〃		〃・堺	36 000	〃
	鋼管・福山	8 000	〃		〃・〃	8 000	形 鋼
	川鉄・水島	5 000	〃		川鉄・千葉	36 000	ストリップ
	住金・小倉	1 000	〃		住金・鹿島	19 000	〃
	新日鉄・君津	(実施)	〃		〃・和歌山	29 000	〃
					鋼管・福山	(実施)	〃
					神鋼・加古川	(実施)	〃

注) 実施量は 52 年 6, 7, 8, 月平均の鋼片 t 数 (実施) とあるのは上記時点での実績は無いがその後実施されているもの又は実施予定のもの

値そのものを短縮する方向に動いている。従来の T.T. における鋼塊凝固率は多くの製鉄所で 60~70% 近辺にあると思われるが、これを鑄込後の型抜を早める、あるいは型抜後の放冷時間を短縮して、従来より 10 min~30 min 最小 T.T. を短縮している⁶⁶⁾。この際、計算上あるいは鋼塊横倒しの組織変化から確認した装入時の鋼塊凝固率は 5~10% 減少しているとのことである。トラックタイム変化が内質におよぼす影響についての報告⁶⁷⁾は少ないが、上記変更において低炭リムド、キャップド鋼の場合 [S] > 0.023% では偏析が増加して T.T. 短縮不可能であった例⁶⁸⁾以外はおおむね実用上の問題はないようである。高 Mn キルド鋼特有の均熱炉段階での鋼塊表層割れ機構は次第に明らかにされ^{68)~71)}、加熱時の昇熱速度を抑える方法を中心としてトラックタイム短縮が行きわたっている。

均熱炉自体の省エネルギーについて述べると、設備的な面からの改善として、①排ガス O₂ の連続測定-空燃比制御、②排ガスポート断面積縮小 (放射伝熱面拡大) ③燃料ガスの発熱量増加、④炉蓋シールのセラミックファイバー化、などが試みられている。また最近建設された均熱炉のほとんどはメタリックレキュペレーター付の上部一方向焚式であるが、この形式の欠点である炉内温度分布の不均一性に対してバーナー改善で対処すべく開発が行なわれている。

一方、操業方法の変更による燃料原単位低下では、設定温度の低下、最適稼動ホール数の選定、空炉時の保温あるいは過均熱の防止などを経て、積極的にヒートパターンを変更して大きな成果を挙げられるようになった。従来の均熱炉の設計は加熱能率優先からバーナー容量を炉床負荷で 200~300×10³kcal/m² 程度としているが、最大燃料投入量を種々変えて見るとこの 60~70% に最も熱効率の良い点があることが判明してきた。つまり加熱中の鋼塊表面の熱伝達能には限度があり、それに相応する燃料投入量がこの近くにあることを示している。このことから装入直後で鋼塊表面温度の低い間は燃料投入量を少なくし、表面温度の上昇に伴い投入量を増加するヒートパターンが各種用いられるようになった。炉温の設定を装入直後は 1 200°C 程度として抽出前に 1 300°C 前後までセットアップする 2 段加熱法、この段数を多くして

直線的に設定温度を上げて行くプログラム加熱法などである。逆 L 字型加熱パターン⁷²⁾は鋼塊の凝固潜熱を利用し、この考え方を一層発展させたもので、装入初期の燃料流量は単に鋼塊表面からの放熱が起きない程度の一定小流量とし、抽出直前に鋼塊表層を圧延に耐えられるだけの温度に加熱する方法で、従来方式に比較して 40% の燃料節減となる。

5.2 鋼片含熱量の有効利用

分塊圧延終了時の鋼片温度は表面で 900~1 000°C、中心で 1 100~1 200°C ある。現在これを有効に利用する方法の一つはスラブクーリングボイラーであり、他は次工程とのホットチャージ (H.C.) またはダイレクトローリング (H.D.R.) である。スラブクーリングボイラーは水島製鉄所分塊工場に設置され⁷³⁾⁷⁴⁾、スラブ強制冷却機に入る前の顕熱を蒸気として回収する。これによつて分塊圧延後のスラブ含熱量 160×10³kcal/t の内 80×10³kcal/t が回収、工場用蒸気に利用される。

H.C. は分塊-大形工場間で H 形鋼およびシートパイルの製造の際に分塊圧延された熱鋼片を冷却せずに大形工場加熱炉へ入れる方法で 50~250×10³ kcal/t の加熱炉燃料原単位低減につながる⁷⁵⁾。H.D.R. は分塊-ホットストリップ工場で採用され、熱スラブを加熱炉を全く通さず直接ホットコイルまで圧延する方法で、加熱炉燃料原単位は (H.D.R. 期間中の加熱炉保温を考慮して) 250~300×10³kcal/t 節減される⁷⁶⁾。表 13 に現在国内で行なわれている H.C. および H.D.R. の概況を示す。H.C.⁷⁷⁾ および H.D.R.⁷⁸⁾⁷⁹⁾ とともに均熱炉での燃料の増加 (10~20×10³kcal/t)、製鋼作業費の増加、工程計画の短縮あるいは制限、各工程の歩留、疵取りの増減などの得失を持っているが、最終的には表面疵をいかに発生させないかが実施量拡大の鍵となる。

5.3 その他の省エネルギーと今後の方向

電力原単位の削減は設備改善が主なものである。圧延ロール駆動用モータの電源としてイルグナー方式とサイリスタ方式を比較すると、前者の方が 10~15% 使用電力が多いが、電力費だけで既設イルグナーをサイリスタ化するには設備費が高過ぎるようである。これに対し、ポンプ、ブロウ用モーター類を高頻度起動型に変更して空転電力を削減する方法が取り入れられている。また

表14 圧延温度と必要な燃料・電力エネルギー
(単位=×10³kcal/t)

	1 300°C (基準)	1 200°C	1 110°C
燃料	524	486	446
電力	14.4	14.4×1.15=16.6	14.4×1.35=19.5
合計	540.4	502.6	465.5

燃料: 均熱炉熱効率 40% として冷塊からの加熱燃料 (低炭リムド鋼)
基準圧延電力=6 kWh/t, 1 300°C
電力エネルギー換算値=2 450kcal/kWh

均熱炉の鋼塊焼上温度を低くして燃料原単位を小さくすると、圧延所要電力は増加するが、この際圧延中の変形能減少による表面疵増加は別にして所要エネルギーだけを概算比較すると表 14 のごとくなり、圧延温度を下げた方が有利となる。

さて、今後分塊工程の省エネルギーは「トラックタイムの一層の短縮、低温圧延、ヒートパターン改善、燃焼設備の改良などによる均熱炉燃料節減」と「ダイレクトローリング、ホットチャージの拡大」の2方向へ進むと考えられる。これらに際して低温圧延、H.D.R.やH.C.に耐えられる表面疵のない鋼塊と、熱間疵手入法の開発が必要であろう。さらに、T.T.短縮の影響、未凝固圧延⁸⁰⁾、最終的には均熱炉加熱の代りに鋼塊含有熱をエネルギーとして取り出す方法などの研究課題が残されている。

6. 結 言

製鋼工程の省エネルギーは製鉄所他工程同様最近著しく進歩している。しかし一方粗鋼の減産は各プロセスの稼働率を下げ固定的なエネルギー原単位をあげており、また製鉄所内エネルギー原単位の変動に最も関与する溶鉄配合率の上昇は省エネルギーに逆行している。個々のテーマについては本文で述べた通りその成果は明らかだが、さらに生産量の変化、原料事情の変化など外部要因の変動も含め総合的な省エネルギー対策を実施していく必要があろう。

文 献

- 1) 池田忠治: 鉄と鋼, 63 (1977) 12, p. 1904
- 2) 梅根英二: 鉄鋼界, (1976) 11, p. 49
- 3) 野崎洋彦: 第 39 回西山記念講座「製鋼における省エネルギー」
- 4) 尾崎知良: 鉄鋼界, (1976) 11, p. 70
- 5) 堀 珊吉: 第 40・41 回西山記念講座「鋼の連続鍛造の進歩」
- 6) 児玉正範, 橋 林三, 大西正之, 野崎 努, 岡野忍, 小沢三千晴, 岩崎利雄, 吉門照幸: 川崎製鉄技報, 19 (1977) No. 1, 2, p. 14
- 7) 神戸加古川, 第 68 回製鋼部会資料
- 8) 安斉考儀, 山上 諄, 宮下芳雄, 阪本英一, 菅克之, 角南英八郎: 鉄と鋼, 60 (1974) 7, p. 973

- 9) 田口喜代美, 小谷野敬之, 石川 勝, 内田 繁, 川和高穂, 宮原 忍: 鉄と鋼, 63 (1977) 11, S 549
- 10) 原 千里, 橋尾守規, 木村智彦, 小出優和: 鉄と鋼, 63 (1977) 11, S 550
- 11) 大井 浩: 第 40・41 回西山記念講座「連続鍛造鋼片の表面欠陥とその防上法」
- 12) 根本秀太郎, 川和高穂, 添田茂樹, 阪本英一, 小谷野敬之: 鉄と鋼, 57 (1971) 3, p. 646
- 13) 村上 正, 副島善蔵, 橋本真輔, 芝本真吾, 浜野豊三良, 丹野 仁: 鉄と鋼, 63 (1977) 4, S 88
- 14) 大森 尚, 大西正之, 小島信司, 山本義治: 鉄と鋼, 63 (1977) 4, S 88
- 15) 竹村洋三, 高橋良太, 訖摩三朗, 竹内恒夫: 鉄と鋼, 64 (1978) 4, S 127
- 16) 井上俊朗, 野田郁朗, 秋田靖博, 木村秀明: 鉄と鋼, 64 (1978) 4, S 128
- 17) 新日鉄八幡: 第 61 回製鋼部会資料
- 18) 第 45 回分塊分科会
- 19) 兼沢勝彦, 佐藤周三, 町田 豊, 小橋正満: 鉄と鋼, 63 (1977) 11, S 687
- 20) 吾郷仙台: 第 62 回製鋼部会資料
- 21) 寺田利担, 武藤振一郎, 森脇三郎, 豊坂秀夫: 鉄と鋼, 63 (1977) 11, S 688
- 22) 小林隆衛, 武田俊彦, 成合靖正, 木村智彦, 坂下勉: 鉄と鋼, 63 (1977) 11, S 548
- 23) 新日鉄大分: 第 66 回製鋼部会資料
- 24) IISI: "A Study of the Continuous Casting" (1977)
- 25) 前原 繁, 高橋正章, 山口武和, 伊知地勝弘, 緒方征司: 製鉄研究, No. 291, p. 89
- 26) 片田 中: 鉄と鋼, 62 (1976) 10, p. 1449
- 27) 新日鉄大分: 第 62 回製鋼部会資料
- 28) 伊集院正樹, 松本敏夫, 阪本英一, 楯 昌久: 日本鋼管技報, No. 74 (1977) 8, p. 35
- 29) 鋼管福山: 第 60 回製鋼部会資料
- 30) 大森 尚, 和田芳信: 鉄と鋼, 63 (1977) 4, S 132
- 31) 鋼管福山: 第 59 回製鋼部会資料
- 32) 新日鉄八幡: 第 67 回製鋼部会資料
- 33) 紙谷鉄男: 「電動機制御システム」
- 34) 新日鉄名古屋: 第 58 回熱経済技術部会資料
- 35) 新日鉄堺: 第 62 回製鋼部会資料
- 36) 神戸技術開発部: 第 58 回製鋼部会資料
- 37) 新日鉄八幡: 第 59 回製鋼部会資料
- 38) 新日鉄八幡: 第 48 回特殊鋼部会資料
- 39) 江本寛治, 山本武美, 飯田義信, 大井 浩, 西岡武三郎: 鉄と鋼, 63 (1977) 2, A9
- 40) 森谷尚玄, 俵 正憲: 鉄と鋼, 63 (1977) 13, p. 2070
- 41) 神居詮正, 大久保静夫, 恵藤文二, 鉄と鋼, 63 (1977) 13, p. 2064
- 42) 玉寺睦満, 村瀬昭次, 沖森真弓, 木村弘之, 長通知, 鹿子木公春: 鉄と鋼, 63 (1977) 4, S 130
- 43) 沢村信幸, 原口俊雄, 伊東修三, 池田辰雄: 鉄と鋼, 63 (1977) 4, S 131

- 44) 新日鉄八幡: 第 60 回製鋼部会資料
- 45) 飯田義治, 江本寛治, 山田博右, 田中秀幸, 難波明彦, 陶山謙二: 鉄と鋼, 63 (1977) 11, S 628
- 46) 玉本 茂, 佐々木寛太郎, 梨和 甫, 杉田 宏, 森 明義: 鉄と鋼, 63 (1977) 13, p. 2110
- 47) 根本秀太郎, 川和高穂, 佐藤秀樹, 阪本英一: 鉄と鋼, 58 (1972) 3, p. 387
- 48) 田中駿一, 内堀秀男, 半明正之, 内田繁孝: 鉄と鋼, 60 (1975) 14, p. 2991
- 49) 飯田義治, 江本寛治, 難波明彦, 黒田健三, 日名英司: 鉄と鋼, 63 (1977) 11, S 538
- 50) 新日鉄大分: 第 66 回製鋼部会資料
- 51) 松井秀雄, 金塚泰夫, 喜多村実, 川崎正蔵: 鉄と鋼, 64 (1978) 4, S 170
- 52) 住金鹿島: 第 61 回製鋼部会資料
- 53) 大竹康元: 第 43 回西山記念講座「製鉄におけるスラグの発生」
- 54) 東口方也, 本吉 実, 松永 久, 児玉文男, 大矢龍夫: 鉄と鋼, 64 (1978) 2, A 21
- 55) 神戸加古川: 第 59 回製鋼部会資料
- 56) 新日鉄大分: 第 22 回耐火物部会資料
- 57) 新日鉄八幡: 第 51 回造塊用耐火物専門委資料
- 58) 品川白煉瓦: 同 上
- 59) 第 68 回製鋼部会アンケート
- 60) 日新呉: 第 59 回製鋼部会資料
- 61) 岸高 寿: 第 43 回西山記念講座「製鋼におけるスラグの発生とその再利用」
- 62) 川鉄千葉: 第 68 回製鋼部会資料
- 63) 川鉄水島: 第 58 回製鋼部会資料
- 64) 鋼管京浜: 第 68 回製鋼部会資料
- 65) 日本鉄鋼連盟: 圧延作業調査表
- 66) 第 42 回分塊分科会
- 67) 梶岡博幸: 第 38 回分塊分科会特別講演資料
- 68) 長谷部茂雄: 鉄と鋼, 48 (1962), p. 1575
- 69) 梨和 甫, 高島啓行, 尾崎孝三郎, 吉原正裕: 鉄と鋼, 62 (1976) 4, S 156
- 70) 大杉賢三, 館野次郎, 上村吉成, 高谷元啓, 三浦幸雄: 鉄と鋼, 62 (1976) 11, S 555
- 71) 小田光雄, 大谷泰夫, 吉原正裕, 梨和 甫, 村岡義章, 尾崎孝三郎: 鉄と鋼, 63 (1977) 4, S 110
- 72) 宮内皓一郎, 大住 惇: 熱管理と公害, 29 (1977) 5, p. 41
- 73) 野田敏夫, 筒井 剛, 白石典久: 熱管理と公害, 26 (1974) 8, p. 23
- 74) 川鉄: 第 60 回熱経済技術部会
- 75) 第 25 回大形分科会
- 76) 土屋健治: 第 39 回西山記念講座「圧延プロセスにおける省エネルギー」
- 77) 橋本隆文, 大杉賢三, 三浦幸雄, 森田 俊: 鉄と鋼, 63 (1977) 4, S 189
- 78) 佐藤 修, 尾崎順三, 永井秋男: 鉄と鋼, 63 (1977) 4, S 189
- 79) 長谷川一郎: 燃料及燃焼, 43 (1976), p. 865
- 80) 林 千博, 白石博章, 沖 正海, 沖田美幸, 川崎守雄: 鉄と鋼, 63 (1977) 4, S 212