

特集

鉄鋼業とエネルギー問題

設備、工程合理化による省エネルギー

—新日鉄堺製鉄所におけるCC-DRプロセス—

Energy Savings by CC-DR Process at Sakai Works

蜂谷 整生*・浅野総一郎**・佐々木智久***

Seio Hachiya Soichiro Asano Tomohisa Sasaki

1. 緒言

戦後日本鉄鋼業の技術発展は、設備の大型化、プロセスの自動化、連続化による生産効率向上の歴史であった。

一貫製鉄所の製造工程例を図-1に示すが、第1次石油危機以後生産効率向上に加え、中間工程の省略、複数工程の直結処理化による大幅な省エネルギーが図られている。転炉～圧延間の各プロセスを比較整理すると図-2の如くであるが、中間工程の省略、複数工程の直結化の代表例として、造塊・均熱・分塊を1工程で処理する連続鑄造法(図-2C, 以下連鑄と言う)、あるいはスラブ手入・加熱を省略した分塊・直送圧延法(図-2B, IC-DR)等をあげることができる。

近年、連続鑄造比率の大幅な向上が図られつつある日本鉄鋼業における次なる大きな課題は、連続鑄造後の高温鑄片を加熱炉を経由せずにそのまま圧延する連鑄・直送圧延法(図-2E, 以下CC-DRと言う)を実現することであり、これは単に省エネルギーのみならず歩留向上、省力等製鉄プロセス革新化のターゲットでもあった。

新日鐵(株)堺製鉄所では1979年4月に連続鑄造機

| プロセス | 工程 | 転炉 | 造塊 | 均熱 | 分塊 | 連鑄 | スラブ手入 | 加熱 | 圧延 | 連続鑄造機 [t/台・日] | 連続圧延機 [t/台・日] |
|------|--------|----|----|----|----|----|-------|----|----|------------------|------------------|
| A | IC-冷片 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 480 | 30 |
| B | IC-DR | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 220 | 10 |
| C | CC-冷片 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 320 | 30 |
| D | CC-HCR | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 210 | 5 |
| E | CC-DR | ◎ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 80 | 2 |

IC: Ingot Casting (普通造塊法)
 CC: Continuous Casting (連続鑄造法)
 DR: Direct Rolling (直送圧延法)
 HCR: Hot Charge Rolling (熱片装入法)

図-2 転炉～圧延間の各プロセス比較

の建設が決定されたが、その建設に当っては従来よりも一段と効率の良い連続鑄造機を、圧延と直結して設置すべきだと考えた。また堺製鉄所ではIC-DRを早くから実現し、分塊圧延後の高温スラブを直接圧延する技術や、直接圧延に伴う複雑な生産管理システムのノウハウを蓄積してきていた。一方、社内他製鉄所ではCC-HCR(図-2D)の実現が既にあり、高温で無欠陥なスラブを鑄造する技術はある程度完成していた。加えて、堺製鉄所は既設の製鋼工場および熱延工場が比較的近距離にあるコンパクトでシンプルなレイアウトなため、熱延工場に直結して連続鑄造機を設置することが可能であった。

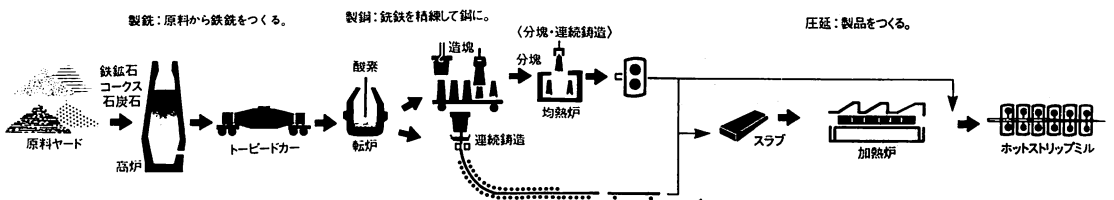


図-1 一貫製鉄所の製造工程例

* 新日本製鐵(株)堺製鉄所副所長

〒590 堺市築港八幡町1

** 新日本製鐵(株)堺製鉄所技術部技術室長

*** 新日本製鐵(株)設備技術本部熱技術部設備工業化室掛長

以上の背景のもとに技術検討を重ねた結果、鑄片を圧延可能な温度で出し極く短時間にかつ圧延計画に合わせて、熱延工場に引渡すことが可能であるとの結

論を得た。この検討結果に沿って設備の設計、建設を進め、連続鋳造機を1980年12月に完成、1981年1月稼動を開始した。更に、圧延設備の改造を経て同年7月からCC-DR操業を開始した。現在まで操業は極めて順調に推移し、1983年4月にはCC-DR量累計100万屯を達成、CC-DR率も80%台に到達し、当初の狙いであった省エネルギーは無論のこと、高品質、高歩留、省力化等に大きな成果を發揮している。

以下に製鉄直結プロセスの一つの理想型ともいえる連続鋳片を熱延工場の加熱炉を通さず、直接に圧延するCC-DRを世界に先駆けて実用化した堺製鉄所のケースについて詳しく紹介する。

2. CC-DRの特徴

2.1 レイアウト

堺製鉄所CC-DRの特徴の一つは、図-3に示すレイアウトにある。即ち、連続鋳造と連続熱延ラインを最短のローラーテーブルによって直結している。

後述するような各種方策で高温鋳片を製造しても、圧延機までの搬送距離が長いと、圧延に必要な温度を保つことは非常に困難である。堺製鉄所の場合、従来の転炉に隣接して連続鋳造機を設置すると言う既存概念を根本から見直し、転炉～連続間(約600m)に、溶

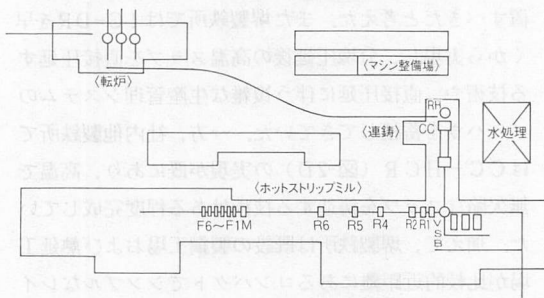


図-3 CC-DRの設備レイアウト

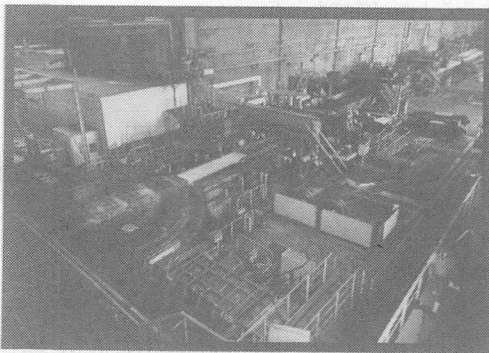


図-4 高温スラブを90°方向をかえて熱延ミルに直送するターンテーブル

表1 関連設備概要

| 設備 | 項目 | 主仕様 |
|----|--------|----------------------------------|
| 転炉 | T/CH | 170 T/CH×2/3基 |
| RH | 型式 | ツインベッセル槽台車移動、取鍋昇降方式 |
| | 真空排気装置 | 軽処理専用(到達真空度 10Torr) |
| CC | 型式 | 全湾曲型、4点矯正 |
| | ストランド数 | 2ストランド |
| | 鋳片サイズ | 250厚×600~1,320幅×4,300~9,800長(mm) |
| | 二次冷却 | 気水噴霧方式 |
| 熱延 | 型式 | 56inch全連続ミル |
| | コイルサイズ | 1.2~16.0厚×600~1,300幅(mm)×20(TON) |

鋼輸送を採用することで、連続鋳造設備を熱延工場入口に設置することが可能となった。また連続鋳造ラインと熱延ラインは直交しており、鋳片の方向転換のためターンテーブル(図-4)を採用した。これらにより熱ロスをも最小に抑えて両工程を結びつけることが出来た。参考までに関連設備概要を表1に示す。

2.2 CC-DRを支える技術

CC-DRを可能とした技術は、次の三つに大別される。

- (1) 中間加熱炉を使用することなく直接圧延を可能とする温度改善技術。即ち、
 - ①高温鋳片の製造
 - ②熱延ラインでの放熱防止
 - ③幅端部温度補償
- (2) 中間手入することなく、かつ凝固直後に圧延可能とするための品質保証技術。即ち、
 - ①無欠陥鋳片の製造
- (3) 鋳造と圧延の生産順を完全に一致させる工程改善技術。即ち、
 - ①連続鋳造及び熱延夫々での幅可変制御
 - ②生産管理システム

これらは堺にて1974年以来実施し蓄積してきたIC-DR技術を更に向上し、且つ無欠陥鋳片製造に関する社内最新技術を取込み総合化したものである。これらの技術構成を図-5に示すとともに以下に説明する。

2.2.1 温度改善技術

(1) 高温鋳片の製造

高温鋳片を得るため、鋳造の前半では必要最小限の凝固しか行わず、後半に未凝固部の顕潜熱による復熱効果を利用した未凝固復熱方式を採用した。すなわち、連続の二次冷を極力弱くし、かつ冷却ゾーン長を短くすることで、鋳片は中心部が未凝固のままで冷却ゾ

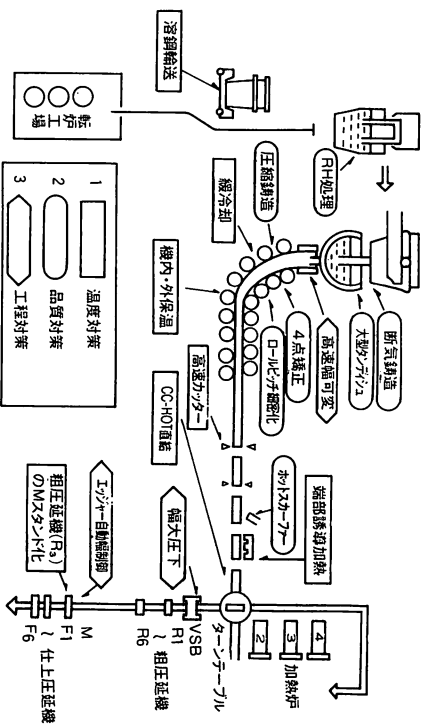


図-5 堺CC-DR主要設備，技術

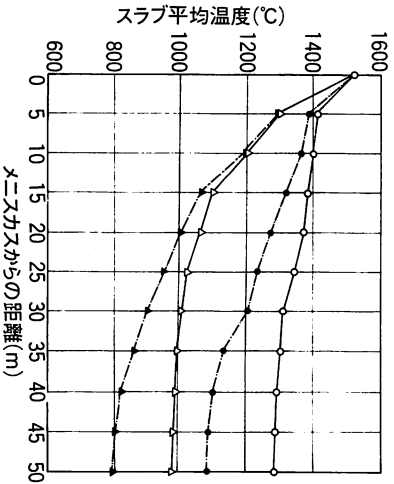


図-6 連続機内のスラブ平均温度 (計算値)

ーンを出る。この中心部の未凝固潜熱，顕熱で鱗片表面部の復熱が行われ，均一に近い高温鱗片が得られる。このような緩冷却をするためには，非常に少量の水を鱗片全体に均一にかける必要があるが，従来のスプレー方式ではノズル詰り，均一分布等に問題があるため，気水噴霧方式を開発し採用した。これにより鱗片温度は約180℃改善出来た。緩冷却の効果を図-6に示す。

こうして得られた高温状態を圧延まで保つために，連続鋳造機内では幅端部に機内保温装置を，搬送テーブルでは全面に断熱カバーを施した機外保温を設置している。

(2) 熱延ラインでの放熱防止

圧延中の熱放散量は，ラインに入ってから仕上げミルが出るまでの圧延材の表面積と経過時間との積に比例する。これを減少させる方策として粗3号ミルを仕上げ

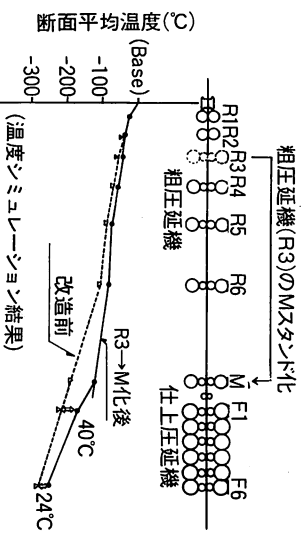


図-7 熱延における仕上げ出口温度確保対策およびその効果

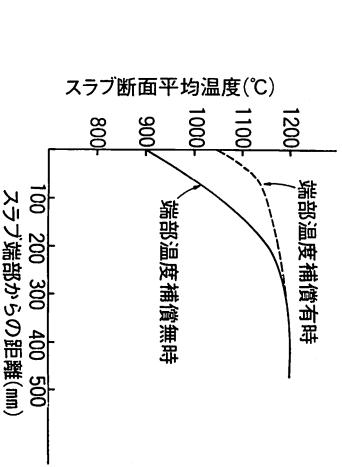


図-8 端部温度補償装置の効果

ミル前面に移設 (以後メタリドと言う) し，粗6号ミル出側のバー厚を従来の28mmから58mmに増した。

これにより粗圧延段階での板表面積は半減し，大幅な放熱防止が図られている。この効果を図-7に示す。

一方，仕上げミルへのバー嚙込速度増も実施し，仕上げ圧延時間の短縮も図った。

(3) 端部温度補償

上記2項で述べた方策で材料平均温度としては充分

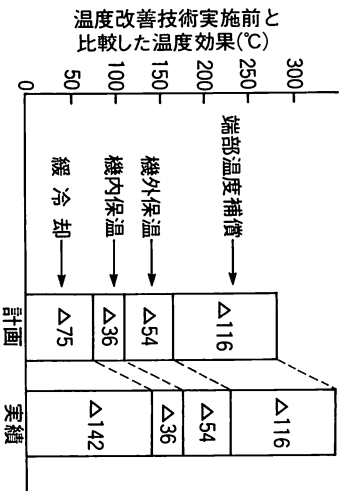


図-9 温度改善技術の効果

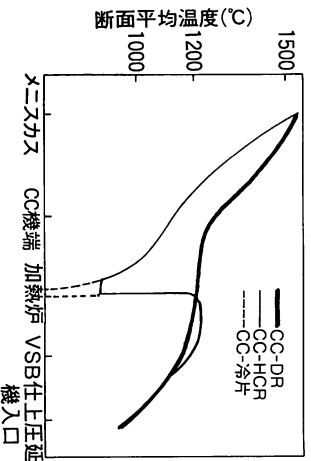


図-10 CC-DRプロセスの温度推移

であるが、冷却しやすい幅端部については鑄片保有熱のみでは品質上要求される仕上温度が得られない場合がある。その場合鑄片端部のみに作用し、しかも不足だけを効率的、短時間で昇温できる電磁誘導加熱を、スラフ段階で実施している。その効果を図-8に示す。

以上の諸対策毎の効果をまとめて図-9に、また連続から圧延にいたる一貫温度推移を、従来法と比較して図-10に示す。

2.2.2 品質保証技術

(1) 無欠陥鑄片の製造

鑄片の品質としては、表面に疵がないこと、介在物が許容量以下であること、内部に割れがないことが要求される。表面疵防止対策は、鑄造過程で急激な温度変化等による表面歪を減少してやることであり、介在物対策は鑄造前までに、介在物となるノロをいかに減少させるかとともに、レードル・タンデイツシュ・モールド間の注入段階での酸化をいかに防止するかである。表面疵及び介在物対策として次のような対策をとっている。

- ① 溶鋼の清浄化——転炉でのスラグカット、RH処理、堰付大型タンデイツシュ
- ② 断気鑄造——レードル・タンデイツシュ間、

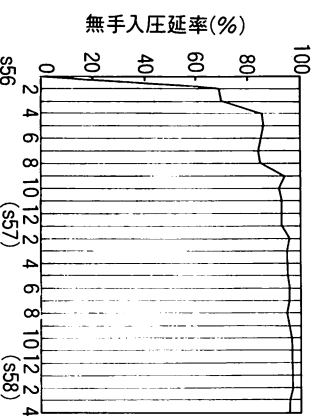


図-11 無手入れ圧延率の推移

タンデイツシュ・モールド間のソール強化

③ 高速一定速鑄造—大型タンデイツシュ、自動注入、メタルレベルコントローラ

④ 均一緩冷却——気水噴霧冷却
また、内部割れを防止するには、鑄造途中で鑄片内部に発生する応力を許容応力以下にする必要があるが、特に高温鑄片を製造することから

- ① バルジソング歪の減少——細密ローレルチ
- ② 矯正歪の減少——4点矯正、圧縮鑄造等を行った。

これらの対策の結果、無手入圧延率は図-11に示す通り、95%を超える値を維持しており、また内部品質についても充分満足する成績である。

2.2.3 工程改善技術

(1) 幅制御

連続鑄造は同一鑄造チャンスでは一定幅で鑄造し、熱延では同一圧延チャンスで広い幅から狭幅に変化させるのが一般的である。CC-DRでは、鑄造順と圧延順が全く同じになるため、圧延幅スケジュールに合せた鑄片を順次供給する必要がある。このため、連続ではモールドの高速幅可変装置を採用した。これは、1.6 m/minの一定速鑄造中に、32mm/min片側で連続的にスラフ幅を拡大または縮小するものである。

更に、圧延工程では、既設の堅型スケールブローカ—(V.S.B)をリバーズに改造し、150mm/5パスまでの幅圧下を可能とした。また、粗圧延機の移送(Mスランド設置)に伴ない、エッジャーにおいて自動幅制御を行うこととした。

(2) 生産管理システム

CC-DR 操業においては、転炉で出鋼された溶鋼は従来30時間以上を要していたものが、約2時間と言う極めて短時間でコイルになるため、製鋼から圧延に至るまでの一貫した生産計画や成品の納期管理などに

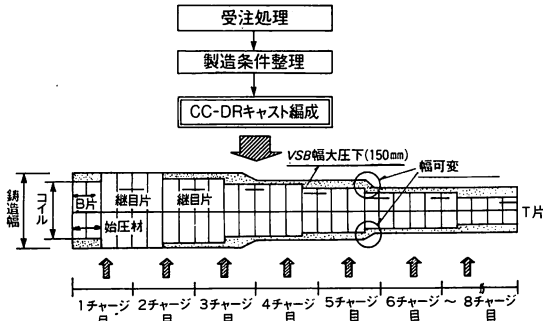


図-12 転炉～圧延間の共通ロットの編成とその実行

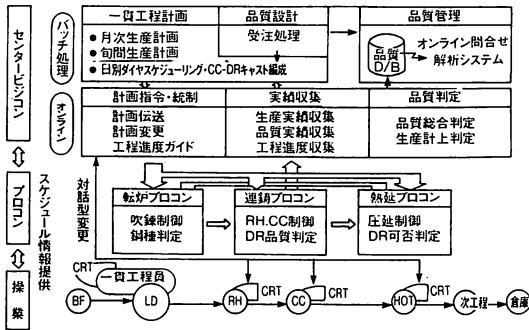


図-13 システム構成と機能分担

対応出来る生産管理システムを開発し、適用している。生産計画段階において、CC-DRキャスト編成は、

- ①鋼種集約 ②幅制御

等を有効に活用し、

- ①転炉～連続～熱延の能力がマッチングする。
- ②連続出片順が熱延圧延順に一致する。
- ③多連々鋳を満足する。

ように計画されている。連続～熱延間の共通スケジュール編成結果を模式的に表わしたものを図-12に、生産管理システムの概略図を図-13に示す。このシステムは、実操業で各工程の乱れに対する調整、製造条件データに基づき品質の即時判定しフィードフォワード・アクションをとる機能等も備えている。

なお、CC-DRを安定実施するには、以上の技術に加え、各工程での設備信頼性の大幅な向上が不可欠である。このため、

- ①設備設計時点で信頼性の高い設備とするための配慮
- ②直結工程内でのネック工程に対する重点的改善
- ③設備診断技術に支えられた予防保全

にも力を注いだ。

3. CC-DRの成果

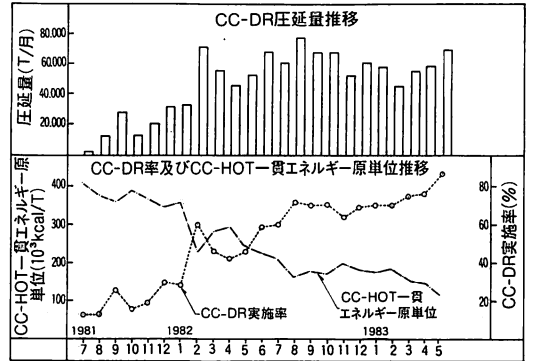


図-14 CC-DR実施状況及びCC～HOT～貫エネルギー原単位推移

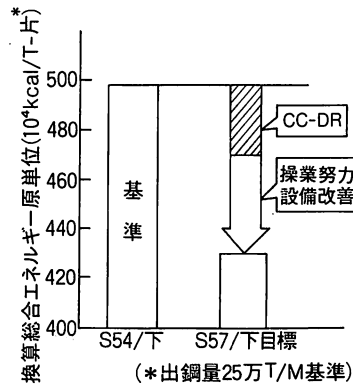


図-15 堺製鉄所における省エネルギー

3.1 生産状況

前述の如く、IC-DRでの蓄積技術及び社内他所での高効率連続機技術をベースにCC-DR新技術を開発し、設備計画に適用する等周到な事前準備の後、1981年1月に連続製造設備が稼動、同年7月からCC-DR操業を開始した。その後、遂次操業の拡大をほかり図-14に示す如く、1年後の1982年8月以降は安定して70%を超え、直近では80%を超えるCC-DR率を達成している。また1983年4月には、CC-DRによる熱延コイル累計生産量100万トン達成した。

3.2 省エネルギー効果

堺製鉄所では、二度にわたるオイルショック後の緊迫したエネルギー需給環境の下で、いかなるエネルギー情勢の変化にもフレキシブルに対応できる強靱な体質を築くため「昭和57年度末までに鉱石原料から成品に到る総合エネルギー原単位430万kcal/T一片の安定的体質を確保する」ことを目標に、昭和55年度から製鉄所をあげて推進してきた。ここ数年、生産面では、鉄鋼需要環境が大きく悪化し、堺製鉄所の粗鋼生産量

が、昭和57年度には202万T/年と生産能力の50%以下となる極めて低いレベルを強いられてきたが、エネルギーソースの最適化という面では、一早く高炉でのオールコークス操業の実現を図り、脱石油体制を確立、また高炉炉頂圧回収発電（TRT）、焼結排熱回収等徹底した排エネルギーの回収、有効利用をはかると共に転炉LDG回収量増、各種燃料原単位、電力原単位の向上等、生産、操業面での努力により多大な成果を収め、昭和57年度末には、その目標とする体質を確保した。それに際し、昭和56年7月より操業を開始したCC-DRの効果はきわめて大きいものであった。

転炉で出鋼されてから熱延工場で圧延可能な高温スラブを製造するに要するエネルギーは、造塊・冷片法（図-2A）で約48万kcal/T、連铸・冷片法（図-2C）で約32万kcal/Tであった。一方、CC-DR法では約8万kcal/Tと造塊・冷片法に比べて1/6で済むため、大幅なエネルギー節減が可能となる。CC-DR操業開始後の連铸～熱延（CC～HOT）一貫エネルギー原単位（両工程における加熱エネルギー総熱量を熱延コイル生産量で割った指標）の推移を図-14に、CC-DR率と一貫エネルギー原単位の関係を整理したものを図-16に示すが、CC-DR率の向上とともに、一貫エネルギー原単位が著しく低下してきた。ちなみにCC-DR累計生産量100万屯の省エネルギー効果は、重油換算で約4万屯タンカー1隻分に相当する大きな成果である。また本年5月には、熱延工場加熱炉単独の燃料原単位、81千kcal/Tの世界新記録を達成している。

CC-DRは、この他に

- (1) 加熱炉を経由しないことで、スケールロスが減

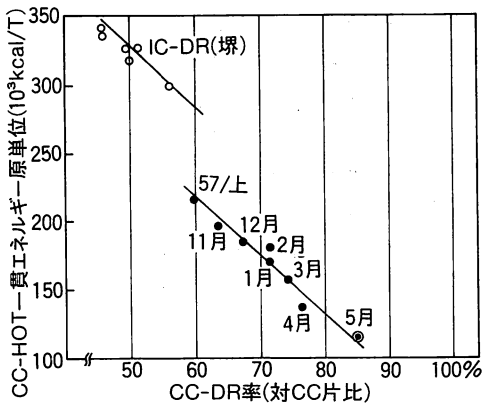


図-16 CC-DR率とCC-HOT一貫エネルギー原単位の関係

少し、圧延歩留が約1%向上する。

- (2) 加熱炉を経由しないことで、板厚精度等品質が向上する。
- (3) スラブヤード在庫が減少する。
- (4) 出鋼から成品までの製造時間が大幅に短縮される。

等、資源節約、品質向上に大きな成果を納めている。

4. おわりに

これまで堺製鉄所のCC-DRについて述べてきたが、今後、製鋼～圧延、直結化を完璧なものとするには、次の2つの課題がある。

(1) 当社では製造品種、サイズ構成、工場レイアウト等各製鉄所の諸条件に対応して各所に適合した直送プロセスが実現している。この共通課題として、直送圧延率の拡大を図るには、受注方式や熱延工場におけるスケジュールフリー圧延法等、生産技術の抜本的な改善を指向する必要がある。

(2) CC-DRは、省エネルギーを主目的として開発されたが大幅な省エネルギー効果のみならず品質、歩留等多方面への波及効果も大きい。このCC-DRプロセスを完璧なものとするためには、夫々の技術を系統的に総合化し、品質・工程管理、メンテナンス等の総合技術として体系化をより強力に進めてゆく必要がある。

以上、堺CC-DRについて紹介してきたが、我国鉄鋼業及び他産業の今後の発展に少しでも参考になれば幸いである。

引用文献

- 1) 田中 et al; 鉄と鋼 67 (1981), S926
- 2) 磯 et al; 鉄と鋼 68 (1982), S210
- 3) S. Ishihara; "Recent Operation of Continuous Casting-Direct Rolling in Japan" IISI/TECHCO June (1982)
- 4) 蜂谷 et al; 鉄と鋼 68 (1982), S209
- 5) 新日鐵堺製鉄所; 製鋼部会 鋼81-自 1982
- 6) 中村 et al; 鉄と鋼 68 (1982), S211
- 7) 木下 et al; 鉄と鋼 68 (1982), S356
- 8) 竹村 et al; 製鉄研究 No 310 (1982) 251
- 9) S. Hachiya et al; "Continuous Casting Machine Designed for CC-DR and Its Operation Performance" AIME 66th Steelmaking Conference in 1983
- 10) 蜂谷 et al; 鉄鋼界 (1983)