

新日鉄大分製鉄所における連鑄-熱間圧延直結工程の生産管理システム

吉村 浩*・渡辺 一弘*・宮脇 治幸*
中島 敏明*・新居田勝博*

Production Control System for Direct-linked Process between Continuous Casters and Hot Strip Mill or Plate Mill at Oita Works, Nippon Steel Corp.

Hiroshi YOSHIMURA, Kazuhiro WATANABE, Haruyuki MIYAWAKI,
Toshiaki NAKAJIMA and Katsuhiko NIIDA

Synopsis :

In the development of the direct-linked process are required not only technical innovation in the manufacturing processes involved but also the renovation of the wide spectrum of production control from the control technology through the computer system to the production organization according to new ideas. "Dynamic production control system" (named as DIAS) for dynamically controlling the material flow and schedule matching of the direct-linked process of ironmaking, steelmaking and rolling was developed at Oita Works in 1980. "Dynamic energy demand/supply control system" (named as DIAS II) linking with "DIAS" for dynamically controlling the energy balance and cost saving was additionally developed in 1985.

Key words : dynamic production control system ; dynamic energy demand/supply control system ; direct linked process ; HCR (Hot Charge Rolling).

1. 緒 言

大分製鉄所は、省エネルギー対策を中期計画の重点課題として取り上げ、なかでも製鋼（全連鑄方式）と圧延の直結化を特に重要視して、早期から実現に向けて取り組んだ。直結化にあたっては、単に圧延加熱炉の燃料節減にとどまることなく、歩留り、生産性、品質、在庫、製造工期、など多目的な改善を意図しながら研究を重ねた。その結果、独自の大規模な直結工程（以下直結プロセスVと称する）を1980年12月に実現した。

直結化後、物流の改革は、エネルギー発生・消費の変動を増大させ、製鉄所トータル・エネルギーの需給調整を困難にし、経済的損失を招いていることを解明した。1985年2月に、直結工程と連結したエネルギー需給管制方式を実現して、この問題を解決した。

本稿では、直結プロセスVの物流とエネルギー需給の管理に焦点をあて、高炉から圧延に至る多工程の一貫物流をあたかも一工程のごとく統御する生産管制システムと、新しく直結化がもたらした問題を克服したエネルギー需給管制システムを中心に生産管理の概要を紹介する。

2. 直結工程の設備・技術と物流の概要

2.1 設備・技術の概要

生産管理の対象であり、かつ前提である直結プロセスVの基本概念図をFig. 1に示した。

設備の特徴は、サイジングミルを設置して、2系列の転炉-RH-連鑄設備と熱延、厚板の2ミルとを直結化していることである。従来5基稼動していた連鑄機は2基（ベース操業）に集約した。また、鋼片精整工程も大幅な合理化を行った。なお直結化後、1986年6月に全量溶銑予備処理設備の新設¹⁾、1986年3月に熱延工場の仕上圧延機改造²⁾³⁾、などを実施した。

代表的直結化技術は下記で構成している。

- ① 転炉-RH-連鑄工程のパターン操業技術⁴⁾
- ② 無欠陥高温鑄片製造技術⁵⁾
- ③ 広幅鑄片幅大圧下技術⁶⁾
- ④ 生産管制システムとエネルギー需給管制システム

2.2 物流の基本形態

一貫物流管理に深くかかわる工程別物流特性指数をTable 1に示した。物流の基本形態を要約すると下記のとおりである。

昭和62年10月20日受付 (Received Oct. 20, 1987)

* 新日本製鉄(株)大分製鉄所 (Oita Works, Nippon Steel Corp., 1 Oaza-nishinosu Oita 870)

Table 1. Material flow characteristic indices of steps of direct-linked process V.

	Blast furnace	Torpedo car	BOF	RH vacuum units	Continuous caster	Sizing mill	Slab yard	Hot strip mill	Plate mill
Number of equipment	2	8/24	2/3	2	2+(1)	1	—	1	1
Production rate (t/h)	750	—	600-1 200	600-1 200	600 or 1 200	800-1 500	—	600-800	200
Operating time (h/month)	680	(4 000) t			670	700	(9 000) t	670	700
Lot size	600 to 800 t/tap	600 t/car or less	320 to 350 t/heat	320 to 350 t/heat	1 to 15 heats/tundish	28 to 120 t/mother slab	120 t or less	600 to 3 500 t/unit	3 000 to 4 000 t/unit

Numbers in parentheses are maximum capacity of stock of torpedo cars and slab yard respectively

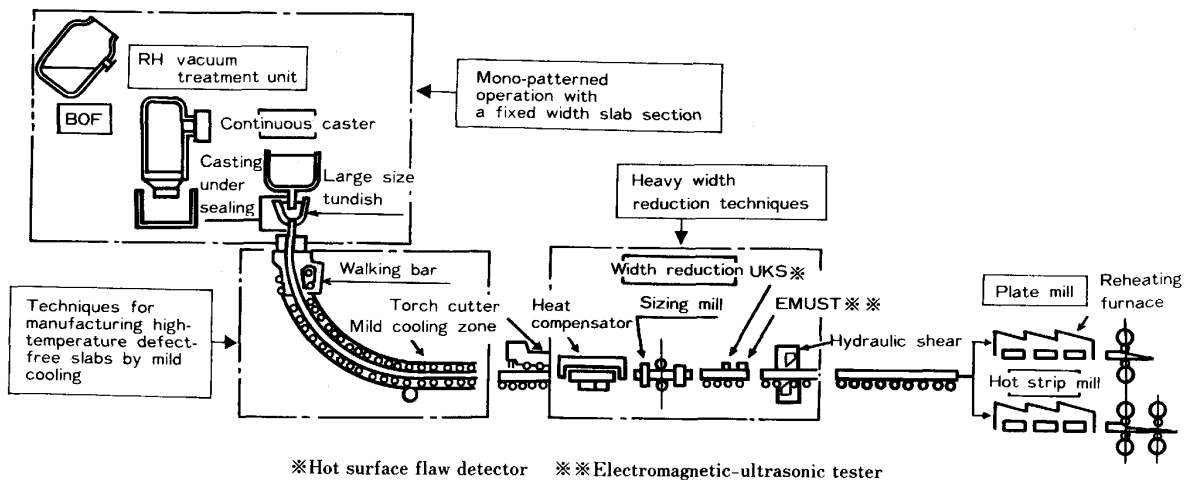


Fig. 1. Schematic illustration of direct-linked process V.

①高炉2基からの出銑をトーピードカーで搬送し、溶銑鍋に分注後全量溶銑予備処理を行う。

②転炉-RH-連銑工程は、一定サイクル操業(時間のパターン化)を行う。

③連銑機2基4ストランドにて熱延、厚板向け高温母材スラブ(一定広幅断面)を銑造し、サイジングミルで圧延工程の要求する幅に圧下する。

④幅圧下後長尺化した母材スラブは、表面疵、内部欠陥を熱間で走間検査し、油圧シャーで圧延工程の要求する長さに小切りする。

⑤小切りしたスラブは、品質不合格品をリジェクトして、即時に天井クレーンにて熱延、厚板工場へ搬送する。

⑥高温スラブは、加熱炉装入まで待ち時間がある場合には保温カバー内で待機させる。

なお、操業異常発生の場合は、溶銑、溶鋼、母材スラブともフェイルセーフの考え方でさばく設備を保有する。

2.3 エネルギー需給の変化

直結化後、同系内設備のエネルギー発生・消費変動が増大した。製鉄所トータル変動に示める同系内変動の比重を Table 2 に示した。

Table 2. Influence of direct-linked process V in total energy G/C fluctuations.

Energy	G/C	Total		Equipment in V		
		Range	σ	Equipment	Range	σ
LDG (kNm ³ /h)	Generation	0~120	20	BOF	0~120	20
	Consumption	200~320	25	HSM	10~80	10
Electricity (MWh)	Consumption	60~160	21	HSM	5~55	12
	Consumption	5~60	12	BOF	5~60	12

(1) 発生系の変化

LDG 発生量は、転炉操業の間欠度合いと2基並行度合いとが変化し、変動が増大した。

(2) 消費系の変化

転炉の酸素とRHの蒸気使用量は、上記と同じ理由により変動が増大した。圧延工程のCOG使用量は、熱片・冷片操業の熱負荷段差と2ミルの重なり具合とが変化し、変動が増大した。

(3) 需給系の変化

副生ガス系でLDGの発生集中とCOGの消費減が同期する場合が多発して、発生・消費の変化差を増幅した。上記変動は、いずれも急激な変化が多い。

3. 生産管理上の課題

新管理方式の開発に当たって、新プロセスの物流現象をシミュレーションを行って検証し、次のように管理課題を設定した。

3.1 物流量の調和と同期化を図る管理方法の構築

(1) 物流量の調和

生産能率 (t/h)、作業率、稼働形態の相異なる出銑・鑄造・圧延の物流量を調和させる管理方法が必要である。特に圧延工程の生産能力機会損失と溶銑物流の停滞を惹起させないこと、冷片スラブの圧延チャンス設定が必要条件である。

(2) 高温スラブの同期化

鑄造時刻と圧延時刻を最短時間でマッチングさせて、高温スラブ一片一片の停滞時間を極小化し、1°Cでも高く直送する管理方法が必要である。このためには、スラブの鑄造順と圧延順を制約条件下で最大限に同順化すること、鑄造時刻を圧延時刻にミートして高精度に設定することが必要条件である。

3.2 物流攪乱事象を的確にさばく管理方法の構築

設備や操業異常による物流攪乱発生時に異常の修復時刻を正確に予測し、全工程の物流を俯瞰的見地から一刻も早く正常化する管理方法が必要である。直結工程の設備・操業異常は、従来にない物流攪乱を惹起すること、通常ばらつきと考えられている品質格落、処理時間・時刻変動も物流アンマッチを惹起することを考慮しなくてはならない。

3.3 エネルギー需給変動をさばく管理方法の構築

直結化の管理ソフトは、物流視点のみでは完結しなかった。エネルギー需給の急激な変化を予知して、需給上のアンバランスを動力設備、または物流計画へフィードフォワードすることが重要である。

4. 生産管理システム改革の基本方針

直結化の成果は、3章に述べた管理課題の実現度合いに大きく依存しているとの認識を持ち、以下の基本方針を設定した。

4.1 改革範囲と力点

(1) 範囲

①高炉から圧延工程までの全物流管理機能を対象に点検して改造を行う。②Plan, Do, Check, Actionの全管理機能(旬計画, 日計画, 実行管制, 実績解析など)を対象にあるべき姿を追求する。③直結化後, エネルギー需給管制機能まで対象範囲を拡大した。

(2) 力点

計画主導型の管理方式構築を指針とし、①制御原理が簡明で、かつ操作が簡便な一貫工程の「徹底した良い計画」の立案方法を考案すること、②操業実績変動を的確にさばき「計画の高い達成」を実現する支援方法を考案すること、③最少要員による効率的な一元管理体系と管理機能の適材適所配置を図ること。

4.2 管理機能構築の考え方

(1) 「良い計画」の立案方法

①キャスト・ロットと圧延単位を一体化した一貫ロット(以下Vロットと称する)を設計し、スラブの同順化を図る。②Vロットを高速列車に見立てて各工程の通過時刻(処理時刻)を定めた物流スケジュール(以下ダイヤ計画と称する)を作成し、実行管理する。この方法により物流量の調和と高温スラブの同期化を同時に実現する。

(2) 「計画の高い達成」の支援方法

列車運行管理の基本にのっとり、設備、操業、製造ロットの状況と進行を集中監視し、異常処置と物流の正常化判断を俯瞰的に行う。この方法で異常事象による物流攪乱を最小にする。

(3) 一元的管理と機能の適材適所配置

前記ダイヤ計画作成機能と集中監視機能を一元化し、それを司る生産管制センターを新設する。Vロット設計は、注文管理との関係で計画部門の担当とする。

(4) 計画主導型エネルギー需給管制方法

直結化後、従来の実績追従型管制機能を、ダイヤ計画と連結した需給予測をもとに計画的に最適調整の図れる計画主導型に改革した。実現にあたっては、直結化の惹起した問題の解決だけでなく、将来のニーズにも応えられ、トータル・エネルギーコストの改善が図れるシステム機能を実現した。

その他、定期修理、点検整備、スケジュールにかかわる物流制約などを計画的に統制すること、高温スラブの品質判定をオンライン化すること、物流実績をもとに直行率と直行阻害要因が解析できるようにすること、などの実現を重要視する。

4.3 システム機能改革の考え方

(1)既存の計画系と操業系システムの中間に、リアルタイムで物流とエネルギー需給を管理する管制系システムを新設する。

(2)Vロット設計とダイヤ計画は、人の知恵を入れやすく柔軟性のある対話型システムを導入する。特にダイヤ計画は、随時リスケジュール可能とする。

(3)ダイヤ計画は、全工程を一元的に視覚化レグラフィック端末に表示する。さらに、端末は主要箇所の新

設する。エネルギー需給計画も同じ考えとした。

(4) 監視情報は、すべてコンピューター・システムで管理し、グラフィック端末に図形表示する。

(5) 品質判定オンライン化は、新検査機器の情報を取り込み完全自動化する。

(6) 従来のプロコン中心のエネルギー管理システムに、ダイヤ計画と連結したオンライン・システムを補強して改革する。

(7) 物流・エネルギー実績解析は、既存の操業技術情報解析システムに新規管理情報を追加し、出力サービスを行う。

このほか、操業管理関係では、サイジングミルのプロコン・システムの新規開発、スラブヤードのトラッキングシステム改革なども並行して行った。

5. 新生産管理体系と運用の概要

新生産管理体系の概念図を Fig. 2 に示した。機能の役割と運用の概要を以下に述べる。

① 旬計画の段階から設備休止、点検休止、物流制約を統制し、計画的に同期化を図る。

② Vロットの一次設計を行って、旬間の粗い一貫物流スケジュールを策定し、旬間の最適化を図る。

③ 製造2日先のVロットを最終設計して日々製造部門に渡す。製造部門は、約48h分のVロットを保持する。

④ 毎朝7時に近未来48hのダイヤ計画を作成する。前半24hは当日の実行スケジュールであり、後半24hは製造部門と最適化を協議するための翌日のスケジュール案である。実行ダイヤ計画は各作業現場へ提示する。

⑤ ダイヤ計画の進行状況を設備、操業、ロット(品質合否、通過時刻)の視点から常時監視し情報を収集する。異常事象は即時に検知でき、全工程の物流状況を正確に判断できる。

⑥ 操業実績を収集・蓄積し、物流の直行率と非直行原因を共通の定義で提供する。

⑦ 高温スラブの品質合否を自動的に判定し、不合格品のリジェクトを指示する。

⑧ ダイヤ計画の練り上げと操業事前段取りについて部門間の意志疎通と合意形成を行う。

⑨ 生産管制と連携してエネルギー需給計画作成と進行監視を行い、最適な需給を実現する。

生産管制センターは製鋼部長直属組織とした。また、待機時間を活用した予防保全、設備故障の迅速な修復と復旧時刻予測を行う整備要員を配置し、万全を期した。

6. 生産管理システムの機能概要

新生産管理システムの特徴は、Vロット設計システム、生産管制システム(以下DIASと称する)、エネルギー需給管制システム(以下DIAS IIと称する)である。以下これらを重点的に述べる。

6.1 計画系システム

(1) Vロット設計システム

従来のチャージ設計、圧延単位編成システムを統合し、スラブの casting と圧延の同順化、連続比、母材スラブ、圧延単位の同時最適化が計画段階から図れるシステムに改造した。熱延系列のVロットの一体概念を Fig. 3 に示した。設計方法の概念図を Fig. 4 に示した。まず設

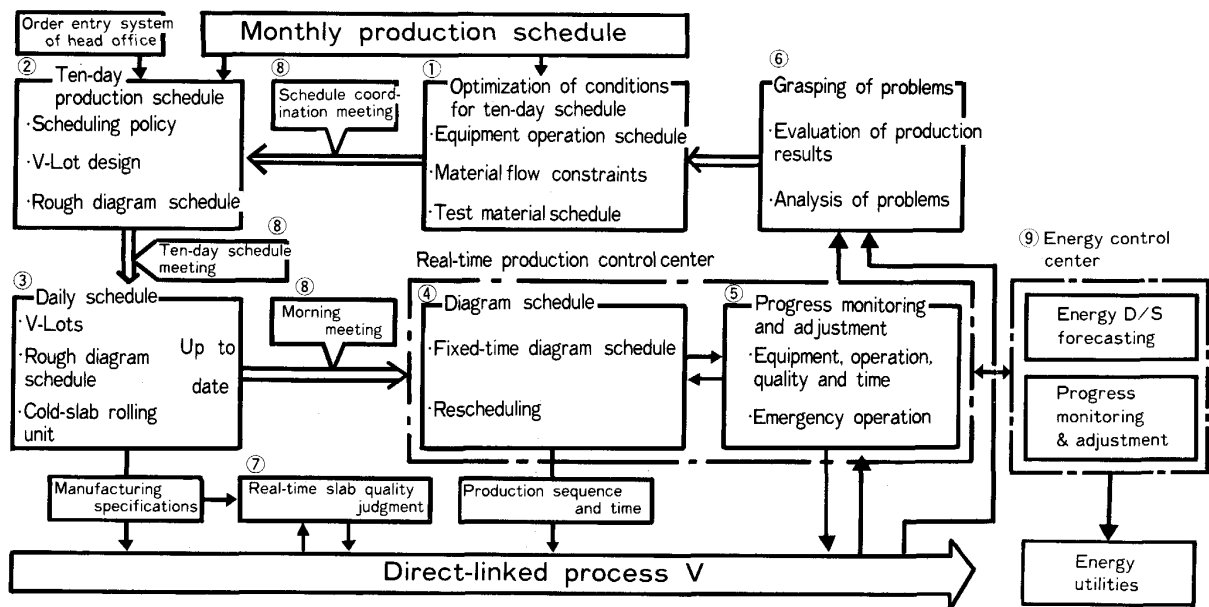


Fig. 2. Concept of production control system.

計対象注文を出鋼鋼種の属性で層別し、属性別に連連鑄比、圧延単位種別と圧延長さを勘案してVロットのパラメーターを決定する。このタイミングで、キャストと圧延単位の最大化を図る。次に1Vロットごとに注文を選択し、スラブ設計後、圧延順決定、母材スラブ設計、鑄造順決定を行う。母材スラブは、VSBの幅圧下能力も考慮し幅を集約して最大化する。旬計画段階で、一次設計し、製造指示直前に注文を確定し、微調整する。夜間自動処理で基本設計を行い、昼間対話処理で仕上げ設計を行う。当方式は、複数のキャスト・ロットと複数の圧延単位を一体化できる柔軟なシステムである。

(2) 旬日物流スケジューリング

当初、設備稼働、物流制約、を勘案したVロットの旬間日別割り付けは、人に依存していた。その後、後述す

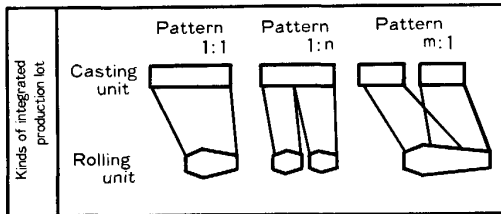


Fig. 3. Typical formation of V-lot (For hot strip mill).

る管制系のダイヤ計画作成システムと同機能のシステムを計画系にも開発した。

6.2 管制系システム

DIAS, DIAS II, 物流・エネルギー実績解析システムで構成している。

6.2.1 DIAS (生産管制システム)

Fig. 5 にシステム概念図を示した。

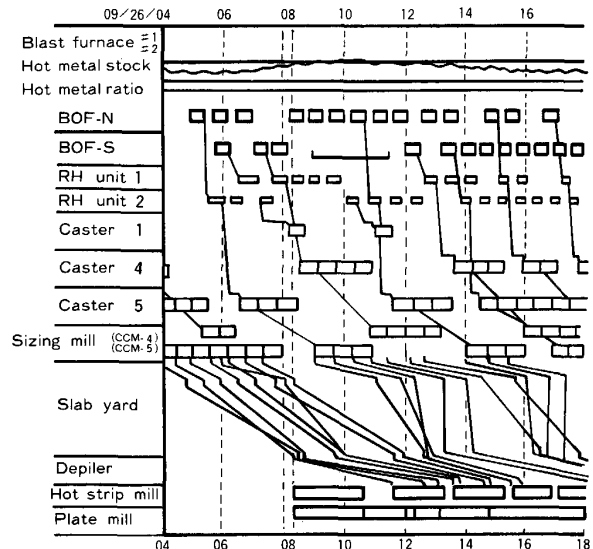


Fig. 6. Graphic display of diagram schedule.

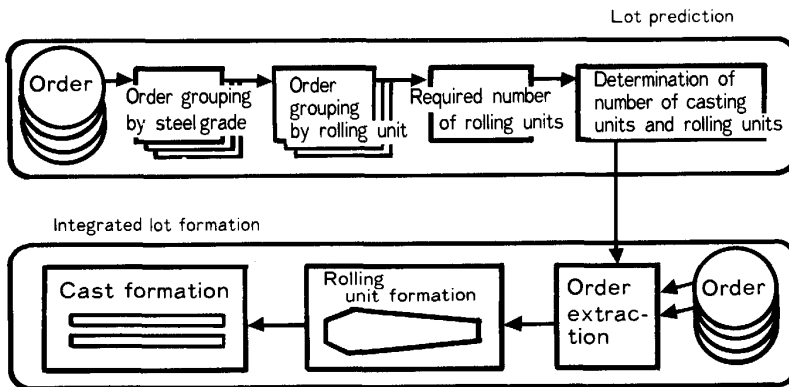


Fig. 4. Concept of V-lot design system.

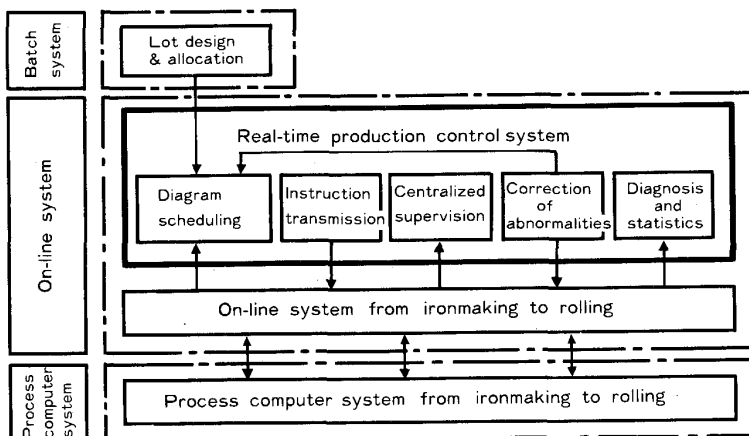


Fig. 5. Concept of DIAS system.

(1)ダイヤ計画作成機能

従来、転炉運転室と連熟・厚板運転室においてハンド作成していたスケジューリング機能を廃止して、当システムに置き換えた。Fig. 6 にダイヤ計画出力画面を示した。直近の実績からスタートした近未来 48 h の物流計画をグラフィック表示してあり、視覚的に簡明に認識できる。作成方法は、製造順に配列した V ロットの各スラブごとの圧延時刻を決定し、キャストと圧延単位の連結構造からクリティカルパスを求め、キャストの鑄造開始時刻 (T_r) を仮決定する。キャストを構成する各チャージの所要溶銹量と出銹計画から時系列の在銹量を算定し、在銹水準を管理限界内に収めるキャストの鑄造開始時刻 (T_p) を求める。 $T_r = T_p$ となるように調整し鑄造開始時刻を最終決定する。鑄造開始時刻と圧延開始時刻を基準点にして各工程の処理時刻を決定する。順列と時刻に自動調整不能な不整合が発生する場合はその箇所を警告する。

ダイヤ計画作成は自動的に短時間で作成できる。物流異常発生時は、初期条件修正と復旧予測時刻を入力して即時にリスケジュールできる。

一貫物流の実行可能性は警告をすべて解消することで保証し、最適性は管理限界内の在銹推移とスラブの待ち時間を示す線の傾斜を視認することで評価可能である。さらに、月次計画などで決定した計画値に対する達成度合い、生産計画量の達成度合いを定量的に評価し検証できる。

(2)物流進行監視機能

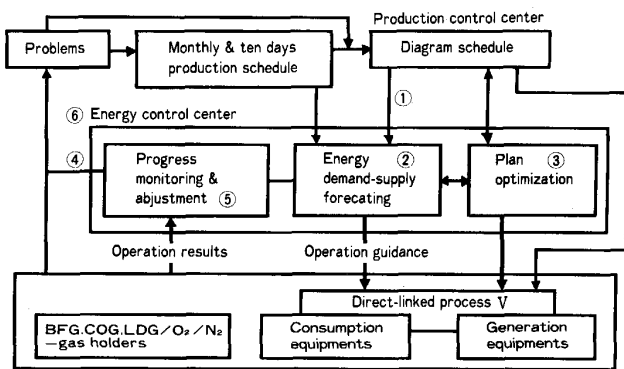


Fig. 7. Concept of energy control system.

グラフィック端末にすべての監視情報を図形出力する方式を採用した。監視項目は、設備稼働(計画休止、故障休止、休止再開時刻)、操業(処理中ロット、処理状況)、製造ロット(通過時刻、圧延単位成立状況、品質異常)とした。これらの情報は、操業系システムより 3 min ごとに収集する。緊急情報は、即時に受け取る。製造ロットの通過時刻は、監視用ダイヤ計画にプロットして遅早を明確に視認できる。異常事象は、画面上に警告表示し、音声でも警告する。システムで捕捉できない状況は、ITV で補完する。

6.2.2 DIAS II (エネルギー需給管制システム)

Fig. 7 にシステム概念図を示した。

(1)エネルギー需給計画機能

①発生・消費予測機能 : BFG, COG, LDG, 酸素, 窒素, 電力, 蒸気を対象として製鉄所内の全設備について発生・消費予測を行う。導出した予測式の数 Table 3 に示した。定式化の基本は、急激に大きく変動する工程はダイヤ情報をもとに個別モデルを導きだし、変動の小さい工程は「生産量×原単位+補正項」で 1 h ごとの発生・使用量を計算する。個別モデルの一例として、熱延工場加熱炉の COG 使用予測を述べる。基礎条件として加熱炉稼働基数、炉長、炉壁温度条件を、スラブごとの要因として寸法、重量、装入予定温度、抽出指定温度、装入予定時刻、抽出予定時刻をとりあげた。これらの要因により求まるスラブごとの COG 使用量を分単位に時系列的に積み上げるモデルとした。転炉, RH における LDG, 酸素, 窒素, 蒸気の発生・消費予測モデルも同様の考え方である。

②副生ガスの最適配分計画機能 : 副生ガス発生・消費のアンバランスは、ガスホルダーの貯蔵量増減となる。枠外ガス販売量最小化、ガス放散量最小化、などでガス販売収益を最大化するためには、ガス混焼設備の配合比と切換えタイミングの調整を制御要因として、最適貯蔵量推移を実現する必要がある。48 h の発生・消費一次予測をもとに、ガス販売収益最大化を目的関数とする線形計画法を適用した最適化モデルを開発した。エネルギーはすべてカロリー換算して計算すること、操業条件差ごとに時系列にゾーン分割し、ゾーン間を調整する変

Table 3. Number of formulae & models for energy G/C forecasting.

Energy	Number of equipment	Formula		Patterned model	
		Generation	Consumption	Generation	Consumption
Electricity	20	2	30	4	28
By-product gases	15	4	39	2	6
O ₂ /N ₂	6	0	10	0	6
Steam	13	2	13	2	20
Compressed air	10	0	10	0	0
Total	64	8	102	10	60

数をもうけたことがモデル化の特徴である。

③需給計画評価：需給計画は、Fig. 8 (需給総括画面) に例示するように、グラフィック端末に出力する。枠外ガス販売量、枠外売電量、酸素の液化・気化量などの損失発生箇所は、警告表示する。同時に、これらの損失を金額換算して提示する。また、電力については、買電単価に差のある昼夜間の使用量比率を算定し目標値の達成度を評価する。

④最適化のアクション：需給計画評価結果から、総合判断して損失回避、収益最大化を図る。調整アクションは、動力設備での発生・消費調整を最初に図り、解決しない場合は生産管制センターと物流計画の修正を協議し、物流とエネルギー需給の最適化を両立させる。

(2)需給進行監視機能

エネルギー・プロコンから実績データを3minごとに収集して、需給計画画面にプロットする。計画と実績のずれを簡明に視認でき危険予知を行う。ずれが拡大傾向にある場合や物流のダイヤ計画が修正された場合は、即時に需給計画を修正する。

6.2.3 物流, エネルギー実績解析システム

既存の操業技術情報解析システムに、物流, エネルギーの計画, 実績データを追加し、随時利用できる体系的解析機能を付加した。非直行要因の解析, エネルギーに関する損失発生, などの原因解析を容易にした。

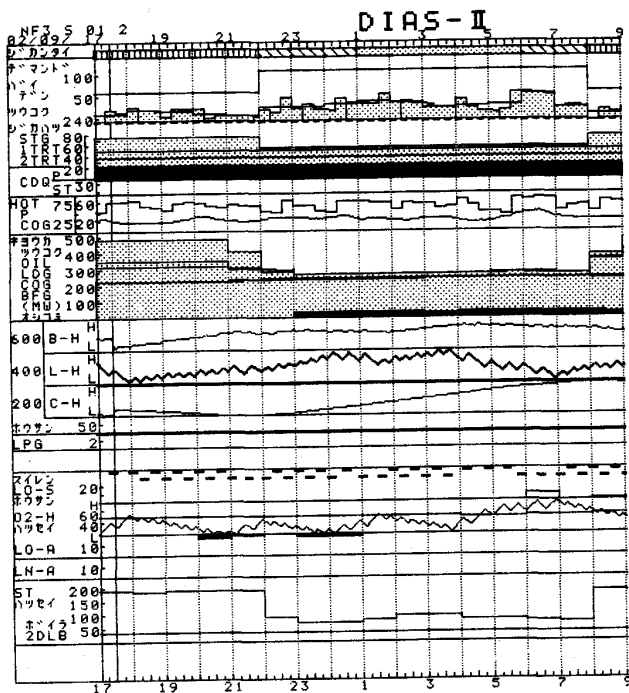


Fig. 8. An example of graphic display of energy G/C forecasting result.

6.3 操業系システム

(1)オンライン品質判定システム

新プロセスでは、高温スラブを熱間で検査するため誘導加熱疵検出方式(表面), 電磁超音波探傷方式(内部)を導入した。従来, バッチシステムで行っていた品質の総合判定を, これらの品質検査情報と製造実績情報をも

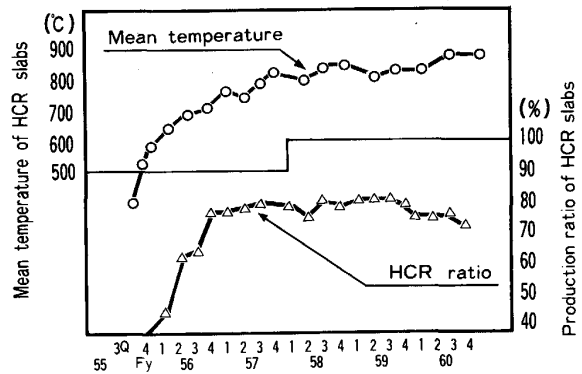


Fig. 9. Transition of HCR operation results (Hot strip mill).

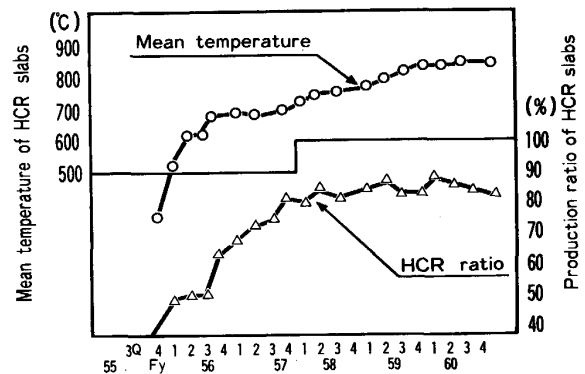


Fig. 10. Transition of HCR operation results (Plate mill).

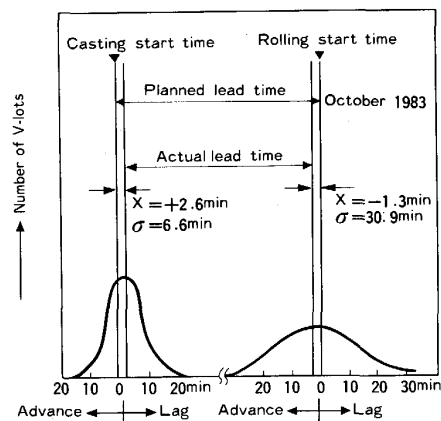


Fig. 11. Achievement rate of diagram schedule (Hot strip mill).

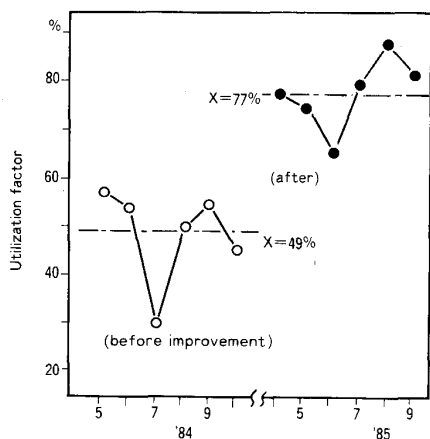


Fig. 12. Change of utilization factor of the gas holder.

とに、オンラインで即時にかつ自動的に判定するシステムとした。

(2) その他のシステム

鑄造品質情報は、従来スラブごとの集約情報のみ保存していたため、キャストの全貌を再現することが困難であった。キャストごとに生データを蓄積し、母材スラブ、スラブごとに問い合わせできる方式に変えた。これにより品質解析の利便性を図った。

また、連鑄機の切合わせシステム、スラブヤードの物流管理システムを、プロコン方式から、オンライン・システムでの直接管理方式に改造した。

7. 成 果

新システムは、HCR 操業、能力機会損失と物流停滞の回避、エネルギー需給のそれぞれの面で業務運用とあいまって開発理念の目標を達成した。全量溶銑予備処理を導入して物流の緊張度はいつそう増加したが、HCR

操業を損なうことなく両立させている。HCR 操業の HCR 比率、スラブ装入温度について、Fig. 9 に熱延工場、Fig. 10 に厚板工場の稼動以来の成績推移を示した。

ダイヤ計画の管理水準を示す指標として、Fig. 11 に熱延系 V ロットの鑄造および圧延開始時刻の達成度を示した。計画と実績時刻とも 1 min の時間を重要視して管理できている。

また、エネルギー需給管制の運用効果例として、COG ガスホルダーの利用効率の変化を Fig. 12 に示した。40 万 m² ホルダーの設置とあいまって副生ガスの販売収入の増加に寄与している。

8. 結 言

直結工程の物流を高速列車運行と認識して、単純明快な制御原理を組み立て、物流のダイヤ計画を作成した。全工程を一元的に視覚化したダイヤ計画を機軸とする生産管理方式を実現した。直結化の影響を受けたエネルギー需給についてもダイヤ計画と連結した需給管理方式を実現して問題を解決した。これらは、HCR 操業、生産能力機会損失と物流停滞の回避、エネルギーコスト低減などのメリット享受に多大に寄与している。

文 献

- 1) 竹村洋三, 吉田基樹, 調 和郎, 古崎 宣: 鉄と鋼, 73 (1987), S277
- 2) 常田 弘, 木村 寛, 村松 清, 浜渦修一: 鉄と鋼, 72 (1986), S1218
- 3) 常田 弘, 木村 寛, 村松 清, 浅井政史: 鉄と鋼, 72 (1986), S1219
- 4) 原田慎三, 稲葉東實, 仲 億, 小宮敏明, 尾花保夫, 小寺 稔: 鉄と鋼, 68 (1982), S213
- 5) 桑原達朗, 山内信一, 岡田力美, 益守照道, 高浜秀行, 常岡 聡: 鉄と鋼, 68 (1982), S214
- 6) 竹内正博, 西村武門, 早野 成, 梁井俊男, 溝口信正, 岡本良一: 鉄と鋼, 68 (1982), S355