

厚板精整工程の管制支援システム

Distribution Control System at Steel Plate Finishing Process

安波利明⁽¹⁾
Toshiaki
YASUNAMI

平田達朗⁽²⁾
Tatsurou
HIRATA

岡本良一⁽³⁾
Ryouichi
OKAMOTO

馬場俊光⁽⁴⁾
Toshimitsu
BABA

抄 録

大規模な物流制御問題であり、従来よりオペレーター依存で行われていた新日本製鐵大分製鐵所厚板工場の精整管制業務のシステム化について述べた。このシステム化に当たってはオペレーターの操業方法と知識を反映させ、物流シミュレーションとエキスパートシステムを融合した新しい手法を開発、適用した。この手法により高速に準最適解を求めることが可能となりシステム化を実現できた。

Abstract

This paper describes a systematization of the operation of plate conditioning control in the plate mill of Oita Works, Nippon Steel Corp., which is the operation of a large-scale physical distribution control and has been carried out in dependence on operators so far. When systematizing the operation, the operator's operating process and his knowledge were made reflected into the system to develop a new method merged the physical distribution simulation with the expert system, and thus developed method was applied. By this method, the suboptimal solutions can be obtained at a high rate to realize the systematization.

1. 緒 言

近年、製造コストダウンのキーワードとして物流の自動化、効率化をよく聞くようになった。これには以下の要因があると思われる。一つは処理設備単体の自動化や搬送機器の情報化が進んだことにより物流を制御する基盤が整ったこと、もう一つはこれまで人依存であった物流計画や制御をシステム化可能とする計算機のハードウェア、ソフトウェア両面の開発が進んだことである。

この状況は製鉄業でも例外ではなく、製鉄所において原料から溶銑、溶鋼、スラブ、鋼板と形を変える多種多様な物流のシステム化、最適化は大きな課題として取り組まれている。

本報告では新日本製鐵大分製鐵所厚板工場における物流管制業務のシステム化について述べている。従来オペレーター依存であったこの業務のシステム化は、社内でも初めての大規模な物流制御システムの実機化であった。

2. 対象工程の概要

2.1 設備概要

大分製鐵所厚板工場のレイアウトを図1に示す。剪断ライン及び精整ヤードは7本の鋼板搬送テーブル(以下テーブル)、テーブル間

をつなぐ2台のトランスファー、11台の天井走行クレーン(以下クレーン)、20か所以上の地上及びテーブル上の処理設備で構成され、その間の地上に鋼板を積み上げた山と呼ばれる鋼板の一次的なストック場所が数百か所存在する。テーブル、トランスファーは自動で制御されているが、クレーンは計算機から出力される作業指示に従ってオペレーターによって運転されている。処理設備はその処理内容によって自動/手動が混在している。

2.2 鋼板の物流とその特徴

幅数m、長さ数〜数十mに圧延された鋼板は冷却後、剪断ラインで製品のサイズに切断される。その後、何の処置も必要でなければ倉庫へ搬送され出荷を待つが、熱処理、塗装、探傷等が予め指示されているものや細かいサイズ調整、形状矯正、疵の手入れ等が検査によって必要と判断されたものは精整ヤードへと流入する。精整ヤードでは、鋼板は決められた順序に従って処理設備間をクレーン、テーブルによって搬送されて処理を受けた後、最終的に倉庫へと払い出される。例えば、塗装が必要な鋼板は剪断ライン→TIトランスファー→Hテーブル→手入床→Kテーブル→クレーン→山→Pテーブル→表塗装機→乾燥機→検査床→裏塗装機→乾燥機→Pテーブル→倉庫という物流となる。量としては1日当たり約800枚の鋼

⁽¹⁾ 大分製鐵所 設備部 掛長

⁽²⁾ 大分製鐵所 設備部 室長

⁽³⁾ 大分製鐵所 人事室 部長代理

⁽⁴⁾ エレクトロニクス・情報通信事業部

システム研究開発センター

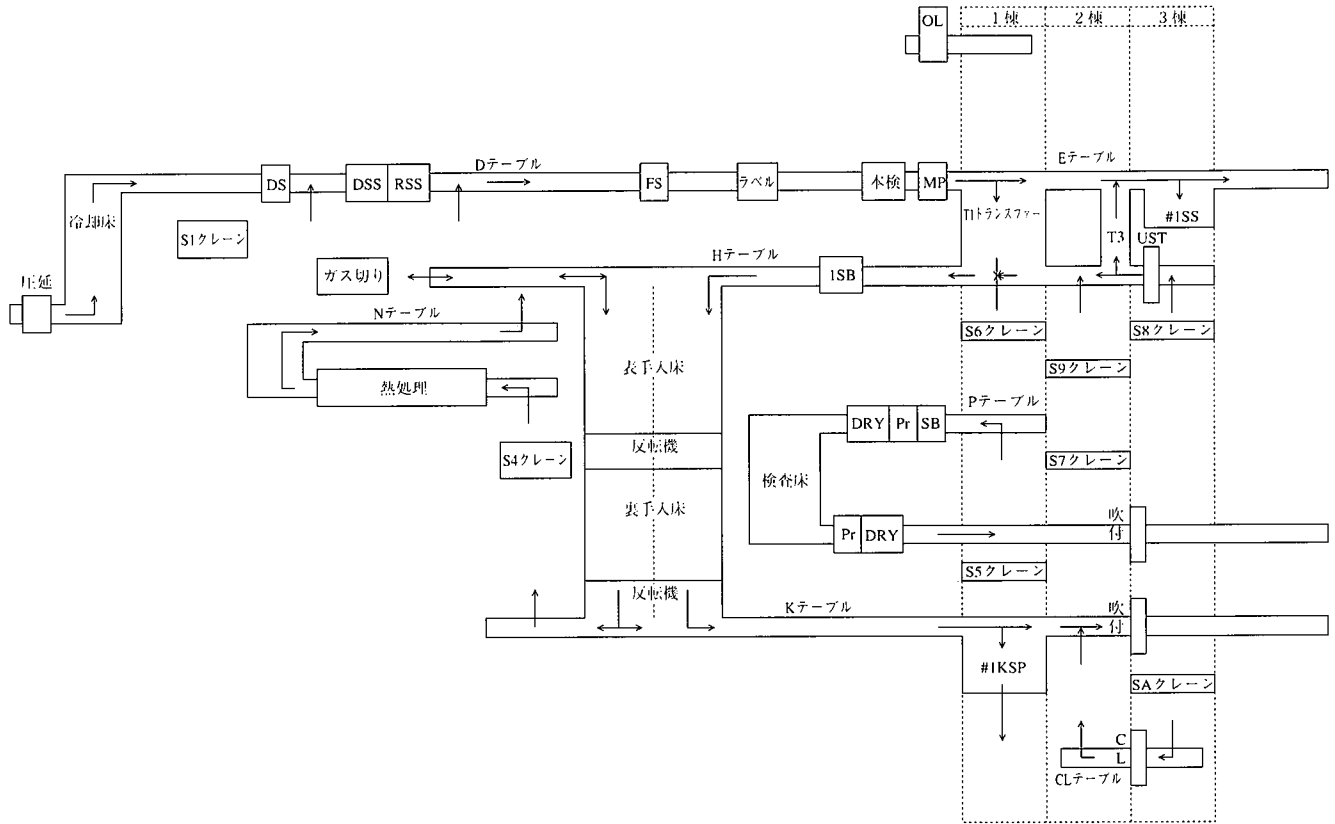


図1 大分製鉄所厚板工場剪断・精整工程レイアウト

板が生産され、平均して地上山に2 000~2 500枚の鋼板が存在する。

これらの鋼板の物流の特徴としては、

- (1) 製品種類ごとに圧延工程と剪断・精整工程との処理能力に差があるが、バッファの役割も持つ山がその調整をしている
 - (2) テーブル間で合流点、分岐点が多く、また複数台のクレーンが同じレール上で動作するためその間で干渉が発生する
 - (3) 受注生産のため鋼板一枚一枚に納期があり、それに間に合うよう出荷しなければならない
 - (4) 山は先入れ後出しのため、下にある鋼板の方を先に取り出す状況が頻繁に発生し、クレーン作業の効率が悪化する
 - (5) 処理設備の稼働率を低下させないために、山から鋼板をテーブルに乗せて処理設備に供給することもある
- があり、精整ヤードのレイアウトも関係して制御困難な物流となっている。

3. 厚板精整管制業務

3.1 既存システム

この剪断ライン、精整ヤードの物流は非常に複雑であるため、その制御に関しては工場建設当初から自動化の動きがあり、すべての鋼板のトラッキングと搬送ルート指示は計算機から自動で行われていた¹⁾。しかしテーブル搬送やクレーン作業のいわゆる交通整理的な面と納期をにらんだ鋼板の処理優先度に関しては、管制員と呼ばれるオペレーターが監視と連絡によって考え、計算機に逐次入力することで制御していた。この分担を図2と以下に示す。
 操作管理計算機：搬送ルートの決定、クレーン作業指示

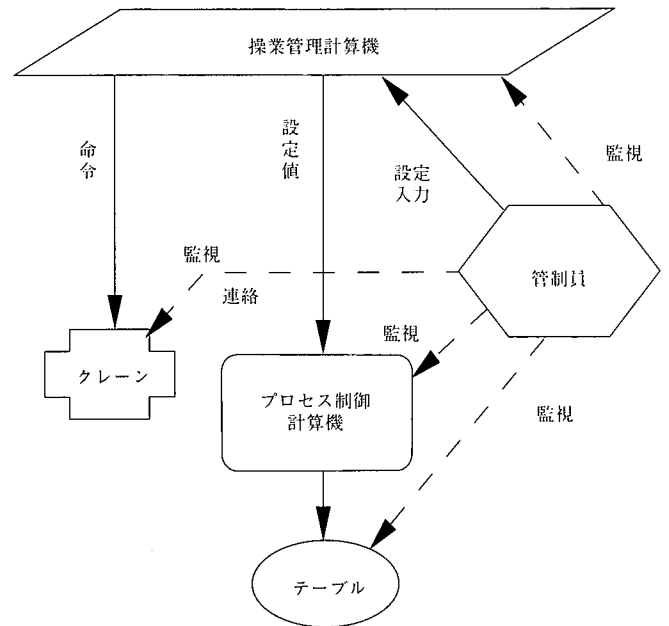


図2 従来の制御機能分担概要

プロセス制御計算機：テーブルの搬送制御、鋼板のトラッキング
 テーブルの合流、分岐点での搬送制御
 管制員：納期の厳しい鋼板のチェックと山の処理順番の決定
 物流の監視とテーブルの合流、分岐点での搬送方向指示
 クレーン作業変更指示
 クレーンオペレーター：クレーンによる搬送

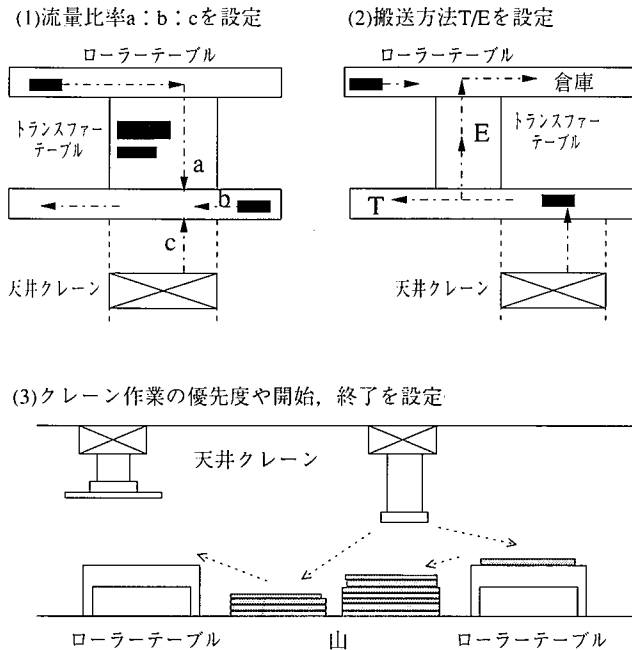


図3 制御項目例

3.2 制御項目と管制員作業

管制員は計算機から鋼板の位置や搬送ルート等の必要な情報を取り出し、監視テレビ等も参考にして交通整理をする信号のように鋼板の流し方を決定し、計算機に対して入力する。代表的な制御項目は流量比率、搬送方向、クレーン作業であり、これらの制御イメージを図3に示す。このため常時監視が必要であり作業負荷が高く、また制御方案も基本はあるものの各オペレーター個人に依存している部分も多く、制御精度も一定でなかった。これらの問題を解決するため、この管制業務のシステム化が必要であった。

4. システム構成

4.1 作業分析

このシステムでは、管制オペレーターの制御する項目の中でも重要性のあるものまたは頻繁に設定変更が必要なものを抽出し、その29項目の値を自動で設定するものとした。

システム化のアプローチ方法として、例えばすべての物流パターンを洗い出し、それぞれに対する制御方法を見つけたしていく方法もあるが、製品種類が多く、かつ時々刻々変化する物流をパターン化することの負荷や、パターン化することによる現実との離反等を考慮すると得策ではなく、ここでは実際に制御を行っている管制員へのヒアリングを実施し、その作業の分析を行った。

基本的な制御の目的は、“圧延からの鋼板の流入量と精整から倉庫への鋼板の流出量の調整”であり、“各テーブル上に常に平均的に板が存在してよどみなく流れている”状態が理想である。このために例えば以下の様なアクションが取られていた。

- (1) 圧延からの流入が多い場合は、テーブルで滞留して圧延を停止させないように優先的に流す。
- (2) 圧延からの流入が少ない場合は、山から鋼板を取り出して次の処理設備に供給する。
- (3) 倉庫での受け入れ速度が小さくテーブルが滞留すれば、上記(2)の状態でも山から供給はしない。

しかし、このような単純な条件だけではなく、様々な制約条件が関係しており、例えば“圧延からの流入量が多い場合でも納期の迫った鋼板が山にあれば取り出して優先的に流す”や“テーブル上の流量は多いが特定の設備で処理する鋼板ばかりの場合は他の設備で処理する鋼板を山から取り出して供給する”等のことも行われる。これらを制約条件としてまとめると、

強い制約条件

- ・搬送の基本ルートは決定済み
- ・山数や山高さ制限によるバッファー量制約
- ・設備や製品制約による搬送量、搬送ピッチ制約
- ・テーブル滞留による圧延の停止は厳禁
- ・納期厳守

弱い制約条件

- ・バッファー量確保のため山は少ない方がよい
 - ・処理設備の作業率向上のため空きテーブルは少ない方がよく、かつ様々な種類が乗っている方がよい
 - ・クレーン間の干渉は少ない方がよい
 - ・テーブルの滞留は少ない方がよい
- となる。

作業としては以上の制約条件を考慮しながら、

- (1) 長期(数時間)と短期(数分間)の物流の予測、先読みに基づいて制御方法を決定、
 - (2) 搬送されている製品の性質が物流に及ぼす影響もあるが、そのときのテーブルやクレーン等の設備状態に制御が依存するので、主にそちらを判断基準とする、
 - (3) 故障や品質異常等の突発の物流変化があるため、それに対応した指示の変更を実施、
 - (4) 物流状態を評価する指標や様々な制約条件を生産状況に依存して変化させて判断、
 - (5) 一か所の制御が他の場所にも影響を与えるのでヤード全体を見渡して総合的に判断、
- を行っていた。

4.2 システム構成

前節の結果より、この問題は制約条件の変化に対応しながら多数の設定項目を時々刻々決定していく計画問題だと言える。しかし解の最適化のためには膨大な数の設定項目の組み合わせを作って、その中を探索しなければならず、従来の手法では非常に困難であった。そのため今回は管制員の制御を模擬するような次の特徴を有したシステム構成とした。

- (1) 物流シミュレーターを構築し、予測のためのシミュレーションを行う。
- (2) ヤード全体の物流状態を評価する評価関数を定義し、最適解を探索する。
- (3) 短時間で制御を切り替え、外乱や突発の物流変化に対応可能とすると共に、重要な変化はそれをトリガーとして取り込み、制御値の再設定を行う。
- (4) 管制員の知識を整理し活用するためと生産状況への対応を行い易くするため制御ルールをエキスパートシステム化する。

制御項目を設定するまでのブロック線図を図4に示す。初期値として現在、剪断ライン、精整ヤード中にある鋼板の位置、サイズ、搬送ルート等の物流状態を上位計算機より入力、長期的な処理設備の稼働計画や故障等の上位計算機に存在しない情報を管制員より入

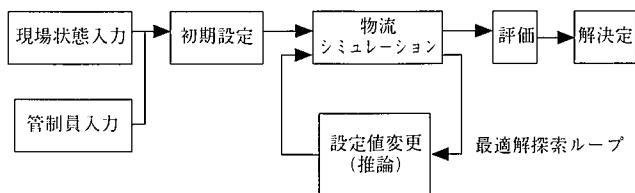


図4 制御ブロック線図

力し、それに基づいて制御項目の初期値を設定する。次にその初期値によってシミュレーションを行い状態変化を予測する。予測結果に対して管制員の知識を用いて障害となる点(長時間の滞留等)と設定との因果関係を抽出し、その設定の変更を行うと共に変更結果を用いて再度シミュレーションを行う。設定項目が29か所もあり、かつその設定結果が互いに影響しあうため、1回の変更だけではその影響を正しく評価することができず、精度の良い設定値が得られない。従って以上の操作を規定回繰り返す、各回の予測結果を評価関数を用いて評価することで準最適な設定値を得るものとしている。評価関数を次に示す。

$$J = \frac{\sum (\text{係数} \times \text{搬送テーブルの滞留度合い}) + \sum (\text{係数} \times \text{滞留に関する搬送テーブル占有率}) + \sum (\text{係数} / \text{滞留に関係ない搬送テーブル占有率})}{\text{総個数}}$$

4.3 実装

ハードウェアの構成を図5に示す。本システムはワークステーション(NSSUN SP10 model31 64MBメモリ, 1.3GBHDD)上で動作し、ゲートウエーを介して上位の操業管理計算機と通信を行うことで必要な情報の取得と設定した値の出力、操業への反映を行う。また二重化しておくことで信頼性とテスト効率を向上させている。

ソフトウェアとしては、エキスパートシステム部分に当社システム研究開発センターで独自開発した高速推論エンジン³⁾を採用した。推論対象物数320, ルール数930であるが、1ルール発火当たり10ms程度の高速性を有している。物流シミュレーターに関してはテーブル、クレーンなどがオブジェクトとして扱い易いため、オブジェクト指向言語であるC++言語を用いて独自に構築した。

制御の切り替え間隔は、シミュレーションが現実と離反しない程度に短く、現場状態の変化が発生し、管制員の判断が働く程度に長く、ただしその変化が大きすぎない程度に短いことを前提として決定した。チューニングの結果、15分間隔での操業管理計算機からのデータ更新とし、その15分を3区分に分け5分間隔で制御を切り替えることとした。

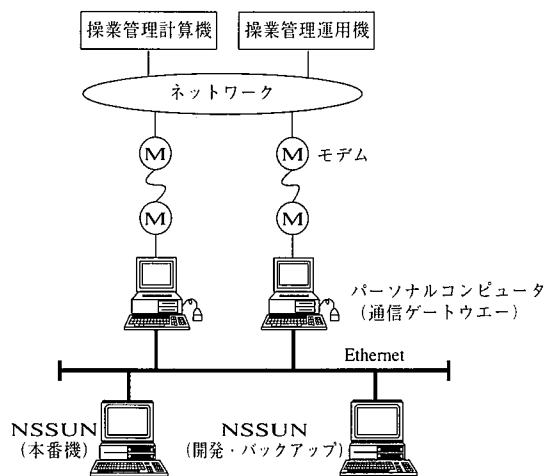


図5 ハードウェア構成

5. 結 言

本システムは1994年6月に実機化以降、これまで何度かの機能追加、制御ルール見直しを行って現在も24時間稼働しており、管制員の負荷軽減、省力化に貢献している。

システム化の対象とした厚板精整管制は物流管制業務の一種であり、従来よりオペレーターに大きく依存してきた業務である。物流管制業務としてはこれ以外にも所内に数多く残っており、今回の取り組みで確立された自動化のための手法を他の管制へも適用拡大を図って行きたい。

参考文献

- 1) 坂入 ほか：大分製鐵所厚板工場の操業管理システム、ハイタックユーザー研究会論文集、1978、p.67-82
- 2) 大村 ほか：シミュレーションによる定量評価を内包した物流制御エキスパートシステム、第2回インテリジェントFAシンポジウム講演論文集、1989、p.133-136
- 3) 宮辺 ほか：汎用ルールベース推論エンジンの開発、新日鉄技報、(346)、53 (1992)