

最適性評価機能を有する 物流制御エキスパートシステム

——鋼片精整工程への適用——

大村 佳也子*, 高橋 哲也*, 小西 正躬*, 井塚 悟**

1. はじめに

生産現場における物流制御は、従来プロセス・コンピュータなどによるシーケンス制御として行なわれていた。この方式は、大量生産を前提とすれば問題ないが、近年いずれの製造業においても多品種少量化が進んだため、設備能力を最大限に活かすためには、状況に応じた搬送設備の運用により最適な物流制御をする必要が生じてきた[3]。

このようなオンラインの物流制御では、計算機による判断は短時間に行なう必要があるため、数理計画などの最適化手法の利用は困難であり、近年ではエキスパートシステムを用いて制御している例も見受けられる[4]。その反面、エキスパートシステムによる方法では、そこに導入された知識の質や妥当性を保証する手段がないため、ルール数の多い大規模なシステムになるほどシステム性能の最適性に対する不安感が増しているのが現状である。この問題を解決するには、エキスパートシステムのルールに対して、なんらかの定量的評価を加えることが必要であると考えられる。

筆者らは製鉄所の鋼片精整ラインの物流制御のためのエキスパートシステム[1]を開発したが、本エキスパートシステムは定性的な推論とともにシミュレータによる定量評価を併用する構成となっ

*おおむら かやこ, たかはし てつや,
こにし まさみ

㈱神戸製鋼所 電子技術研究所
〒651-22 神戸市西区高塚台1-5-5

**いづか さとる

㈱神戸製鋼所 神戸製鉄所

ている。また、エキスパートシステムに組み込む知識を決定する際にも、対象プロセスを詳細にモデル化したペトリネットシミュレータを使ったプロトタイプングにより、導入するルールの性能を事前評価している。以下にこの鋼片精整ラインの物流制御エキスパートシステムの開発について紹介する。

2. 鋼片精整ライン

エキスパートシステムによる物流制御の対象とした鋼片精整ラインを図1に示す。鋼片精整ラインでは連続铸造や分塊工程で製造された半成品の鋼片(118角または155角×10m)に対し、表面疵検出ラインで表面検査をした後、分岐点で3台の疵取機に振り分け、表面疵除去作業を行なう。表面疵除去が終わると鋼片は各疵取機で除去作業を受けた同一ロットの鋼片と合流し、再検査ライ

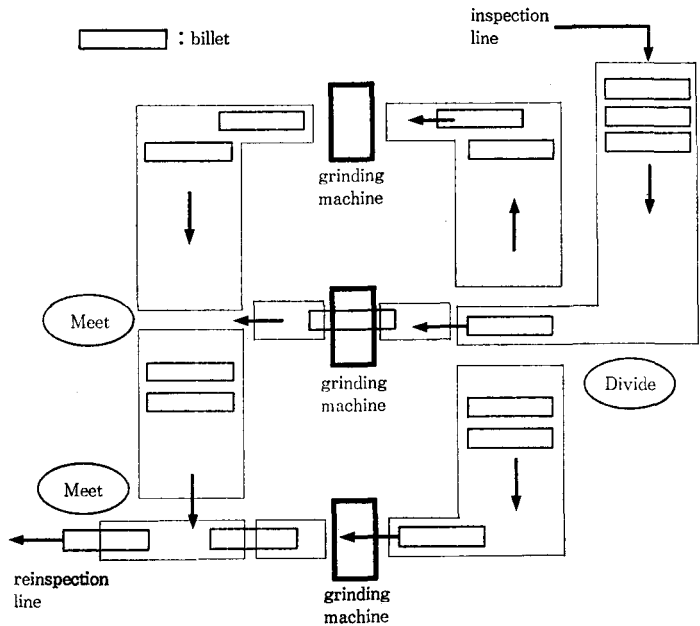


図1 鋼片精整ライン

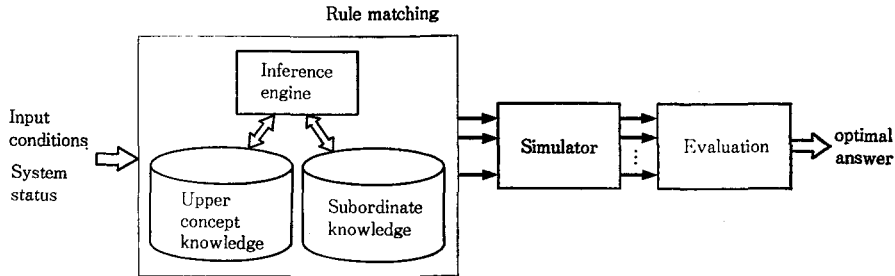


図 2 システム構成

ンを経て次工程である圧延ラインへと運ばれる。

このラインに投入されるロットは、2、3本程度の鋼片からなる小ロットから、30本程度の大ロットまでさまざまなサイズのものがある。各ロットの合流に際しては、異なるロットの鋼片が他のロットに混在してはならないという製品管理面からの制約がある。また、疵除去作業に要する時間は、表面疵検出ラインでの検査結果に応じて鋼片毎に異なる。このような条件のもとで、疵除去作業時間やロットサイズなどを考慮し、スムーズな物流を実現して生産量を増大することが望まれている。

しかし、従来のシステムではこのようなニーズに対応できていない。たとえば従来の制御システムでは異ロット鋼片の混入を避けるために、疵除去作業後のロット合流順序はライン投入時の順序と同じになるようにコントロールされている。このようなロジックは少ないロットの大量生産を行なうプロセスでは問題はないが、多品種少量生産のラインでは合流地点の待ちが発生しやすくなる。したがって、多品種少量生産のラインでは搬送速度アップなどの設備面の改善に加えて、分岐・合流方法の最適化などソフトウェア面からの見直しにより生産量上げることが必要となる。

ところで従来の物流制御システムでは、設備などの制約条件や生産量最大といった評価指標を考慮したロジックがすべて同一の手続き型プログラム内に記述されていた。しかも、高度なノウハウは従来の物流制御システムで記述するとメンテナンス性が悪いという問題があった。一方、メンテナンス性が高いといわれているエキスパートシステムは、対象システムの定性的性質を表現するには優れているが、定量的な最適化を保証することは困難とされている。また、知識追加時に既存知識との整合性がとれるようなルール体系を持つことも必要である。

そこで、本工程における単位時間当たりの処理量を最

大にすることを目標として以下のようなシステムを開発した。

3. 物流制御エキスパートシステム

上述の問題点を考慮し、物流制御エキスパートシステムとしてルールベース・プログラミングの中に定量的な評価を導入することにより、最適性をも指向したシステムを設計した(図2)。本システムはルール照合部、シミュレータ部、評価部の3つの部分から構成されている。

ルール照合部は、製品の投入順序、各設備の使用状況などの条件をもとに定性的に好ましい投入方法の候補を複数個選び出す。シミュレータ部では全候補に対してシミュレーションを行ない、評価部では設定した評価関数を最適にする候補をシステムの最終的な解として出力する。

本システムの特徴は次のとおりである。

- (1)ルールベースプログラミングを採用しているため知識を柔軟に追加・変更でき、メンテナンス性が高い。
- (2)シミュレータにより定量的評価が行なえ、複数候補から最適のものが選ばれる。

(1)の特徴により従来の物流システムの欠点であるメンテナンス性の悪さが、また(2)の特徴により従来のエキスパートシステムの欠点である定量的性の欠如が、互いに補われ所期の機能を実現することができる。また、知識の追加修正時には、シミュレータがルールのチェック機能を果たす。すなわち、変更したルールがたとえ良い解を導出しなくても、シミュレータの定量的評価により、複数候補から悪い解が最終的結論として選ばれることはなくなる。これは、ルールの信頼性というエキスパートシステムをオンラインで使う場合の重要な課題を解決しており、本システムの実用性を高めている。

知識ベースは上位知識ベースと下位知識ベースとから構成されている。上位知識ベースとは物流の大きな方針

を定める経験則であり，“大ロットであればすべてのラインを用いて加工する”，“疵除去作業時間の長い鋼片は同一ラインで続けて処理しない”といったルールがプロダクション・ルールの形で表現されている。上位知識は細かい部分まで指定する必要がないので，ルールのメンテナンス性が高い。一方，下位知識ベースには，上位知識により決められた方針のもとで，その具体的な実現方法が記述されている。たとえば，“全ラインを使う”という方針の制約下では，加工時間やラインの空き状態を参考にしながら1つ1つの製品をどのラインで製造するかが記述されている。このような下位の知識をプロダクション・ルールで記述すると，ごく単純なルールが数多く必要となるので，複雑さとルール数を減らすため，下位知識ベースは手続き型のロジックで記述する。

なお，プロダクションシステムにより推論を行なう機能はオンライン制御用のコンピュータへも移植できるようにプログラミング言語にはFORTRANを用いて実現した。

4. 適用結果

4.1 処理フロー

本システムは図3のような流れにしたがって鋼片の疵除去ラインを決定している。

はじめに，上位概念にもとづくメタ知識を適用し，分岐の方針を決める。分岐方針には，疵除去作業時間を重視するパターン，ロットサイズを重視するパターンなどがある。また，比較的小さなロットが連続する場合には合流地点で先行ロットを追い越す“追越し”を行なうかどうかもこの段階で決められる。同様に，大ロットの場合には，どのラインをどのくらいの比率で使うかを選ぶことができる。このとき考慮される項目はロット構成，ライン待ち時間，鋼片疵除去作業の予測時間などである。このようにルールで決定するのは分岐方法の候補であり，続く下位知識により，それらの分岐方法によって各鋼片を通すラインが決定される。さいごに，シミュレータでそれらの複数候補を定量的に評価した結果，生産量を最大にする候補を最終出力とする。このシミュレータはルールの違いによる影響が表現できる程度に簡略化したモデルを使用しており，オンラインでの使用を前提として計算時間のかからないものとなっている。

4.2 ベトリネットシミュレータを用いたルールの抽出
鋼片精整ラインは従来から無人で制御されていたの

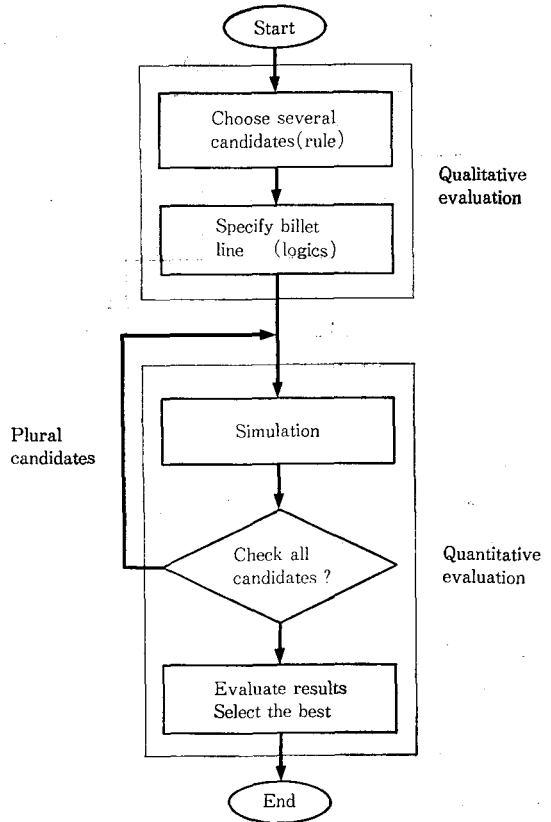


図3 フローチャート

で，鋼片の振り分け方法に関して特別な熟練者のノウハウがあったわけではない。そこで，従来のシステム開発を行なっているシーケンス・ロジック設計者のノウハウを操業の基本ルールとして，種々の追加ルールの抽出が必要となった。このルール抽出の手段としてわれわれは離散事象のモデル化技術として有効なベトリネット[2]を採用し詳細なシミュレータを作成した。このシミュレータで対象工程の厳密な物流モデルを作り，エキスパートシステムの性能を事前評価に用いた。すなわち，知識ベースのプロトタイピングにより，最適なルールを決定するためのツールとして，ベトリネット・シミュレータを活用した。

ベトリネットは離散事象系を扱う汎用的なモデルとして広く知られているが，その反面，対象システムの規模が大きくなるとモデルが複雑になるため，実用規模の物流工程には適用できないと言われている。そこで大規模なシステムを簡単に扱うため，図4のように複雑なシーケンスのロジックやルールによる判断などはコントロー

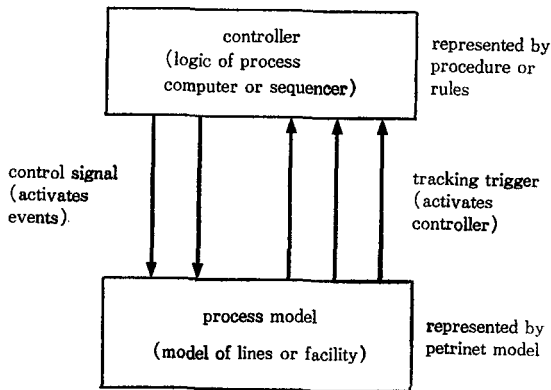


図4 ペトリネットモデル

ラとしてペトリネットモデルから分離した。コントローラは手続き型プログラムで表現され、前述のエキスパートシステムもこのコントローラの中にリンクされている。

コントローラ内のロジックは、ペトリネット・モデル側からのトリガーによって起動される。また、逆にコントローラ内での判断にしたがって、制御信号によってペトリネット・モデル内のイベントが発火できる。これは、実際の工程においてトラッキングのトリガーによってシーケンス・ロジックが起動され、ロジックに応じて物流がコントロールされる様子を素直にシミュレートしたものといえる。これにより、ペトリネットによるモデル化が簡単になり、プレス数125、トランジション数83、コントローラ数28という規模で対象工程の物流をモデル化できている。

知識ベースに入れるルールの調整は、入力データとして実際のロット編成、疵除去作業時間などの情報を用い、種々のルールでシミュレーションを実施し、終了時間、待ち時間を比較することにより行なった。これで平均的に最も大きな生産量を実現できるルールセットを選定した。以後

本文内で示されている適用結果は、すべてペトリネットシミュレータを用いて得た結果である。

4.3 適用結果

実際のロット構成で、従来の分岐方法と本システムでの分岐方法を比較した結果を以下に紹介する。

ここに紹介する例は、小ロットの連続する場合である。このガントチャートを図5、図6に示す。縦軸は鋼片通過ラインを、横軸は時刻を示している。従来のシステム(図5)では通過所要時間の長い第1ライン、第3ラインを避けるために第2ラインを主に使っている。図5で鋼片7は、第2ラインの入口バッファがオーバーしたので第3ラインへ振り分けられたが、合流時点で鋼片6の疵除去作業終了を待つため約4分半の待ちが生じた。一方、エキスパートシステムを用いた場合は(図6)、第2、第3ラインへ適切に振り分けられるため、鋼片7はほとんど待ちなしに合流している。

上記の例以外に、大ロットが続くケースや疵除去作業時間が長い鋼片を含むケースなど、A~Eの6ケースについて従来の分岐方法と本システムでの分岐方法を比較した結果を表1にまとめた。評価指標としては、1本目の鋼片を疵除去ラインに投入してからすべての鋼片が分岐点を通過するまでの時間(表中Divide)と、同じく全

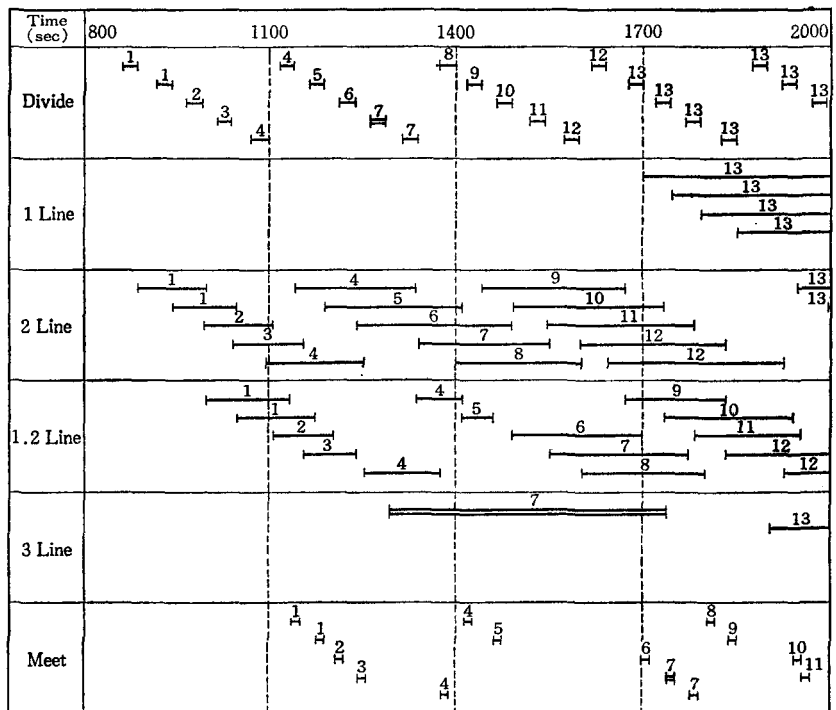


図5 タイムチャート (従来法)

鋼片が合流地点を通過するまでの時間(表中Meet)を採用した。表1では各ケースにおいて、これらの値がエキスパートシステムを用いることにより改善される割合を示している。これより本システムを用いた場合、分岐終了時間で平均6%、合流終了時間で平均5%短縮できることがわかる。本工場は月産65,000トンの生産能力を有するので、この結果は約3,000トンの生産量増加に相当する。

5. おわりに

本稿では、物流制御にエキスパートシステムを用いる際、エキスパートシステムで導出した結果を定量的に評価するため、シミュレータを内包する方法を提案した。

本方法は、ルールにより定性的に好ましい投入方法を数個に絞り込んだのち、これらの候補をシミュレータで定量的に評価する。これによりエキスパートシステムの問題点であった導出解の定量性評価の欠如と従来のプログラムの問題であったメンテナンス性の悪さが互いに補われることとなった。

このようにエキスパートシステムなどの知識工学的手法や数理計画における最適化、さらにはシミュレーション技術などを融合させたハイブリッドなシステム構築の

検討が今後さらに重要になると思われる。

本稿で紹介した物流制御用エキスパートシステムは、オフラインのシミュレーションで大幅な生産量増加が見込まれることがわかったので、専用パーソナルコンピュータに移植し、製鉄所鋼片精整ラインで実機適用中である。

シミュレーション結果

Case	Divide %	Meet %
A	2.73	3.91
B	3.97	2.17
C	8.94	5.11
D	11.89	10.87
E	5.31	4.87
Mean Value	6.6	5.2

参考文献

- [1] 大村ほか：シミュレータ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，(1989)，133-136。
- [2] J. L. ピーターソン：ベトリネット入門。共立出版，1981。
- [3] 高橋ほか：鉄鋼プロセスにおける最適物流計画作成方法。第25回SICE学術講演会，(1986)，269-270。
- [4] 都島ほか：流れ作業ライン制御へのルール型制御方式の適用。計測自動制御学会論文集。(1985)，Vol. 21, No.10, 1113-1120。

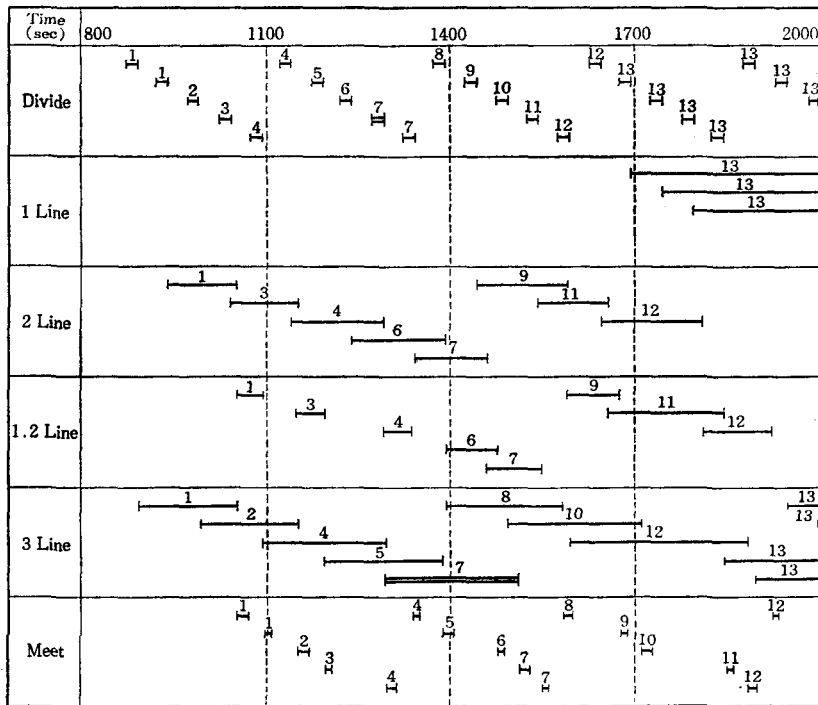


図6 タイムチャート (エキスパートシステム)