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*

大村 佳也子**・高橋 哲也**・小西 正躬**

Expert System Accompanied with Simulator for Material Handling*

Kayako OMURA**, Tetsuya TAKAHASHI** and Masami KONISHI**

Expert systems for planning, design and control are considered useful for their easier handling of heuristic rules. These problems may have several candidates which maximize/minimize its criterion function at almost the same satisfaction. In order to obtain the most suitable one, a quantitative evaluation function is further required for expert systems.

We have been developed an expert system accompanied with a simulator for quantitative evaluation, especially suitable for a material handling problem. In this system, rules select several candidates. Then the simulator evaluates their usefulness and suggests the most appropriate one. This system configuration improves reliability of its solution and helps to add rules easier. From the point of maintainability, in the expert system, there are two knowledge bases according to their abstraction levels. These various methods improve practicability of this system.

As its application, the material handling problem for the billet conditioning line in the steel making process is solved.

1. はじめに

物流制御問題は、次々と流れて来る製品に対し、オンラインで短時間の内に計画を立てていかなければならない。筆者らは、このようなオンライン・リアルタイムの物流制御問題について、有効なエキスパートシステムを応用した解法を検討した。

物流制御では、解を得るのに時間制約がある上、短期的に効果のある制御方法と、比較的長期的に効果のある制御方法が異なる場合がある。このような場合、ある目的関数の最適解を見つけることは困難であり、目的関数を同程度に満たす複数の準最適解を見い出すことしかできない。このような準最適解から妥当な一つを選ぶ手法として、従来からヒューリスティックルールが知られている^{1),2)}。

筆者らは、物流制御システムとして、ヒューリスティッ

クルールの持つ柔軟性を更に高めるため、エキスパートシステムの利用を検討した。ところで、エキスパートシステムは、比較的定性的なノウハウや知識を表現するのに適しているが^{3),4)}、定量的な評価には不適当である。したがって、目的関数を最適化するという制御問題を扱う場合には、エキスパートシステムが推論して導いた複数候補の中から、定量的評価の高い解をどのように見つけるかがポイントとなる。そこで、筆者らの提案する物流制御システムでは、定量的な最適性を保証する手法として、シミュレータを併用することとした。すなわち、競合する複数解をエキスパートシステム内では解の候補として扱い、シミュレーションにより定量評価を行ってから結論を確定する。

ヒューリスティックなルールに定量評価を取り入れる試みは、これまでも予見ファジィ制御⁵⁾などに見られるが、予見ファジィ制御においては、定量評価の指標がプロダクションルールのなかに組み込まれる方式が採られている。これに対して、本論文で採用した方式では、ルールによる定性的な方針決定とシミュレータによる定量評価とをより明確に分離するために、ルールによって複数候補を導出し、それらに対して定量評価を行い最良

* 原稿受付 1992. 2. 25

** ㈱ 神戸製鋼所 電子技術研究所 Electronics Research Laboratory, KOBE STEEL, LTD.; 1-5-5, Takatsukadai, Nishi-ku, Kobe, Hyogo 651-22, JAPAN

Key Words: expert system, steel making process, material handling, billet conditioning line, simulation.

な解を選択している。すなわち、プロダクションルールとは独立した定量評価機能を有しているといえる。これにより、ルールの追加・修正や評価関数の見直しなどを行っても、それらの変更が互いに与える影響は少なく、よりメンテナンス性の良いシステムが実現される。

以下では、この方法論について提案した後、この方法論の妥当性確認のための応用例として鋼片精整工場のライン分岐・合流制御への適用を紹介する。

2. 物流制御システム

本節では、従来の物流制御システムにおける問題点を、制御システムとしての保守性の面と、リアルタイムで用いるエキスパートシステム機能の両面から論ずる。つぎに、それら問題点を踏まえて設計した物流制御システムの構成と機能について紹介する。

2.1 物流制御エキスパートシステム開発の背景

従来のシステム開発では、対象プロセスに合わせて個別に物流制御システムを開発しており、設備・物流の制約と操業方法が、すべて同一の手続き型プログラム内に記述されている。したがって、操業方法や設備変更がプログラムの他の部分に与える影響が大変大きく、プログラムのメンテナンス性を低下させている。

また、操業方法の一つに含まれるヒューリスティックルールには、高度にノウハウ的なものも含まれるため、その解釈の方法を仕様書等の形で継承することは困難な場合が多い。これにヒューリスティックルールが特殊であることによるシステム開発の困難さも加わり、物流制御システムではメンテナンス性の向上が課題であった。

そこで、ヒューリスティックルール表現の容易さ、プログラムのメンテナンス性の高さ、などの理由から、エキスパートシステムの採用を考えた。しかし、エキスパートシステムには実用システムとするときに次のような問題がある。

- (1) 個々の知識の整合性
- (2) ルールのメンテナンス性
- (3) エキスパートシステムの結論の定量的評価方法

すべての知識をシステムの開発時に入手することは不可能であり、適用しつつ新しい知見が得られるたびに追加していくのが普通である。この場合に問題となるのは、開発時に準備した知識と後から追加する知識との整合性がとれているかという点である。すなわち、エキスパートシステムには、知識追加時における知識の整合性の検証機能が不可欠である。

プログラムのメンテナンス性の高さが評価されているエキスパートシステムであるが、その適用上の最大の問題点は、知識ベースのメンテナンス性であろう。ルール

で記述するというプログラム方法をシステムの全体を通じて行くと、真にヒューリスティックな記述をルール化することから離れ、従来のプログラム方法の方が簡単に記述できる部分についてもルールにしてしまう恐れがある。この結果、ルール数は膨大になり、ルールの因果関係をチェックすることは大変困難になる。したがって、基本的に知識の追加・修正が容易であるようなルール体系を持つ必要がある。

また、制御にエキスパートシステムを用いる場合には、得られた解の最適性評価が要求される。元来エキスパートシステムは、手続き型システムが不得意とする定性的判断を得意とするシステムであるが、システムの柔軟性を保持しつつ定量的な最適化も保証する新しいエキスパートシステム利用の制御技術開発が、AI 利用生産技術の課題である。

そこで、筆者らは制約や定型的処理の手続き型記述、評価関数、ヒューリスティックルールの三つを明確に分離させ、プログラムのメンテナンス性を向上させたエキスパートシステムの開発を検討した。

2.2 システム構成

以上の点を考慮して、物流制御システムとして、従来型プログラミングとルールベースプログラミングの利点を融合したシステムを設計した (Fig. 1)。

本システムはルール照合部、シミュレータ部、評価部の三つの部分から構成されている。

このシステムの推論の流れは以下のとおりである。

はじめに、製品の投入条件、システムを構成する各設備の使用状態など、制御の判断に必要な条件をすべてエキスパートシステムに入力する。ルール照合部では、これらのデータをもとに定性的判断により、好ましい制御方法を複数個選び、次のシミュレーションでの評価対象の候補とする。普通、エキスパートシステムは、競合解

Fig. 1 System configuration

消やルールの優先順位により結論を一つに絞るが、本システムでは次の処理部でシミュレータによる定量評価を積極的に使うため、あえて複数候補を出力している。

シミュレータ部では、推論で得られたすべての候補に対してシミュレーションを行う。ここで用いるシミュレーションの目的は、複数の制御方法に対し定量的比較を行うことである。したがって、厳密に対象システムの挙動を記述するものでなくても、候補間の序列をつけられるものであれば十分である。とくに、リアルタイムで本システムを用いる場合、上記の点に留意して、可能な限りモデルを簡略化することが望ましい。

評価部では、あらかじめ設定しておいた評価関数に基づいてルールから得られた複数候補の中から評価値が最も良いものを選択し、それを最終的なシステムの出力とする。

本システムの特徴は、

- (1) エキスパートシステムを採用しているため、プログラムのメンテナンス性を向上することができる。
 - (2) シミュレータを使用して複数の解の候補について定量的評価が行えるため、目標関数に関して常にあるレベル以上の解が得られることが保証されている。これによりオンライン適用の際、システムの出力に対して信頼性を確保できる。
 - (3) ヒューリスティックルールは後述するようにレベル分けをしているため、ルール数が極端に多くなることを防いでいる。
- (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が、(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性が、互いに補われ所期の機能を実現することができる。

さらに、シミュレータ導入の利点として次のような点を挙げることができる。エキスパートシステムを実システムとして用いる場合、種々の場合を想定してエキスパートシステムが示すすべての挙動を調べておくことは重要であるが、知識の追加のたびに同じような調査をすることは、メンテナンス性と相まって知識の追加を躊躇させる原因ともなりがちである。本システムでは、シミュレータが追加知識の妥当性チェックの機能を果たす。すなわち、追加した知識、ルールがたとえ良い解を導出しない場合でも、シミュレータの定量評価によりこの解が最終的結論として選ばれることはなくなる。したがって、システム管理者としては特殊なルール、たとえば、通常の操業では好ましくないが、ごく限られた条件の組み合わせの場合にだけ有効であるようなルールであっても、手軽に知識ベースに追加することができる。

2.3 知識ベース

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。

上位知識ベースには、物流の大きな方針を定めるヒューリスティックルールが記述されている。たとえば、“大ロットであればすべてのラインを用いて加工する”、“小ロットに続いて大ロットが到着する場合には早くラインを空ける”といった物流戦略レベルのルールである。細かい部分まで指定する必要が無いので、変更が必要とされる場合も定義し易く、知識ベースのメンテナンス性を高めることができる。

一方、下位の知識ベースには、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手続き型プログラムで記述されている。たとえば、“全ラインを使う”という方針の制約下では、各製品の加工時間やラインの空き状態を参考にしながら一つ一つの製品をどのラインで製造するかが記述されている。これらの下位の知識ベースの担当する機能を、ルールで表現するとごく単純なルールを数多く記述することになり⁶⁾、ルールのデバッグが難しくなる。下位知識ベースを手続き型プログラムで記述することにより、このような複雑さとルール数を減らしている。たとえば、後述の例では、ルールで表現すると 120 程度のルールが必要であるが、これを 18 個の手続き型プログラムで記述している。

2.4 推論エンジン

本システムの推論エンジンは、プロセスコンピュータへの移植性を高めるためにプログラミング言語には FORTRAN を用いている。FORTRAN を用いていることによる利点のひとつとして、この言語は LISP や C などとは違い、プロセスコンピュータ関係の技術者のほとんどが理解でき、プログラムのメンテナンスの容易化にも貢献している点が挙げられる。

推論エンジンは、次のような特徴を持つプロダクションシステムである。

まず、ワーキングメモリの設定は、サブルーチン IFPRT のなかで行う。Fig. 2 (a) に示すように、ロットサイズや加工時間など、スケジュールの際に考慮すべき項目が個別に判断され、各々の FACT に論理値が与えられる。ここでは成立している事実だけを扱うので、1, 0 のみでよい。

ルールの条件部成立の照合は、サブルーチン ACTPRT で行う。事象はすべて 1, 0 の値が設定されているので、条件部の成立は単純なかけ算で判定できる。Fig. 2 (b) でルール j は FACT (1) と FACT (2) が同時に肯定されている場合に成立し、サブルーチン CAND ではシミュレーションの候補としてパラメータ 1, 2 の組み合わせ

```

SUBROUTINE IFPRT
IF (LOTSIZ. GE. 10)
  FACT (i) = 1
IF (CUTTIM. LE. 80)
  FACT (i + 1) = 1
.
.
.

```

(a) IF Condition routine

```

SUBROUTINE ACTPRT
IF (FACT (1) * FACT (2) * FACT (j). EQ. 1)
  CALL CAND (j, cf 1, para 1, para 2)
  CALL CAND (j, cf 2, para 1', para 2')
  FACT (j) = 0
END IF
IF (FACT (3) * FACT (k). EQ. 1)
  CALL CAND (k, cf 3, para 1, para 2)
  FACT (k) = 0
END IF
.

```

(b) THEN Condition routine

Fig. 2 Inference system

せで規定されるような下位知識ベースに記述された方針を確信度 CF 1 で選択する。ルール j では、さらに、パラメータ $1'$, $2'$ の組み合わせも確信度 CF 2 で候補としている。このように、ルール条件部が成立するものはすべてシミュレーションによるチェック対象の候補となる。同一のルールが無限に適用されることを避けるために、ルール番号を付した事象 FACT (j) を条件部に設け、適用された時点でこの事象を偽としている。

また、ルールの結論として同一の下位知識ベースを候補として選択した場合（たとえばルール j とルール k ），ルールの確信度 CF 1, CF 3 を比較し確信度の大きい方を採用する。この機能は、最低限の条件が揃った時に成立する候補の確信度を CF とした時、それ以上の条件が揃った時に同じ候補を肯定する確信度 CF' が $CF' > CF$ として採択されるためである。

ルール結論部にはシミュレーション候補を記述するだけでなく、新たな事象を肯定（1 をセット），否定（0 をセット）することもできる。全ルールの照合が終わると、変数 FIRE の値をチェックし、1 がセットされている限り再度照合を行う。

3. 適用事例

本節では、2. で述べた物流制御エキスパートシステムを製鉄所鋼片精整工場 (Fig. 3) の物流制御に適用した事例について説明する。

Fig. 3 Billet conditioning line

3.1 鋼片精整工場

本工程は連続铸造や分塊工程の次に行われる工程であり、115 mm または 155 mm 角 $\times$ 10 m 長の鋼片と呼ばれる半成品が処理の対象となる。はじめに、表面疵（きず）検査ラインで鋼片の表面傷を検査した後、この表面疵検査結果に従い 3 本ある疵除去作業ラインに分岐し、各ラインで表面疵除去作業を行う。疵除去作業が終わると鋼片は同一ロット別に合流し、再検査ラインを経て次工程である圧延ラインへと運ばれる。投入される鋼片のロットサイズは 1 ロット当たり 1 本から百数十本と範囲が広く、システムへの到着順、鋼片ごとの疵除去作業時間には、一定の傾向がなくランダムである。

従来の制御システムでは鋼片のライン分岐を数種類のロジックを用いて行っており、主に、各疵取機械前のバッ

ファ空状態に注目していた。ロットごとの合流順序はロットのシステムへの投入順序と同じになるように制約されている。このようなロジックは少品種大量生産を行うプロセスでは十分に有効であるが、多品種少量生産のラインでは状況により不具合が出て来る。それは、疵除去作業時間が他の鋼片に比べて非常に長く、かつ、ロットサイズが小さい鋼片を扱う場合によく発生する。すなわち、後続ロットの処理がいかに早く終了したとしても、この鋼片の疵除去作業が終了しない限り、合流順序の制約により処理ラインからの排出を阻止されることになる。これにより、

疵取機械は使用可能であるにも関わらず、下流側の停滞のため処理が遅延する。また、レイアウトの特徴から、各ライン通過の所要時間が異なるため、小ロットが通過所要時間の長い1ラインを通ることがあれば、合流地点での停滞を引き起こす原因になる。

このように、多品種少量生産のラインでは、搬送速度、疵除去作業時間などの設備能力を向上させるだけでは生産量を上げるのは難しく、分岐・合流方法の合理化という物流制御アルゴリズム面からの見直しが不可欠となる。つまり、具体的にシステムに要求されていた機能拡張は、製品の構成・ロットサイズ・鋼片の処理時間・ラインの稼働状態などの様々な操業状況に柔軟に対応して、

- (1) 疵除去作業前に待ちが発生しにくい各ラインの負荷配分
- (2) 合流待ちが発生しにくい合流順序の決定と鋼片振り分け

を判断し、本工程における単位時間あたりの処理量を最大にする物流制御を実現することである。

しかしながら、上で挙げた操業条件や操業の状況は、多種多様である。また、それらの操業条件は、その時々に応じて変化していく。従来型のシステムに対して、そのような様々に変動する状況に対応し制御ロジックを追加・修正していくことは、システムのメンテナンス性の面から不可能に近かった。

これに対して新たに開発したエキスパートシステムでは、定量評価による性能チェック機能が独立に存在するため、制御則の追加・修正に対しても性能が低下しないことが保証できる。このため、システムのメンテナンス性が向上し、従来システムでは断念されていた、多様な操業状況に対応して制御方法を決定するロジックにまで機能を拡張できた。

Fig. 4 Hardware configuration

3.2 物流制御システム

前節の設計思想に基づいたシステムを開発したが、そのシステム構成を Fig. 4 に示す。プロセスコンピュータは本工場全体の制御を行っており、表面疵検査結果に基づく疵除去作業動作順序の作成・指示、ラインのトラッキング、上位コンピュータへのデータ伝送を主な仕事とする。

物流制御システムには専用パソコンを用いており、プロセスコンピュータとは通信回路により結ばれている。物流制御システムではプロセスコンピュータより送られるトラッキングデータ、疵除去作業予想時間を入力として、各鋼片の使用ラインの決定とロットごとの合流順序の編成を行い、プロセスコンピュータにこの結果を伝送する。また、最適解を求めるための物流評価用シミュレータは、複数候補のシミュレーションを時間内に行うため、モデルをできるだけ簡略化し、FORTRAN で記述している。シミュレーションの対象となるのは現在ライン内にある鋼片と、入口バッファ上にあるライン未決定鋼片である。知識ベースに入れるルールセットの決定のため、オフラインであらかじめいくつかのルールセットのテストを行い、生産量を増加させるルールが選択されている。このテストでは実際の搬送設備、疵取機械など処理設備のシーケンサロジックをすべて忠実に再現したペトリネットシミュレータを用いた⁷⁾。

物流制御システムの起動は、ロットの先頭材が Fig. 3 の入口バッファのあるシステム起動ポイントを通過するタイミングで行われる。スケジュール対象となる本数はロットサイズにより異なるが、10 本程度を目安に、小ロットの場合は複数ロットをまとめて、大ロットの場合は疵除去作業時間が計算済みの鋼片数で分割している。大ロットを扱う場合には、合流地点での異ロット材の混入に配慮する必要がなく、合流地点に到達した順序で排出

される。小ロットを複数ロットにまとめて制御指示を出すことは、ロット単位で合流地点での追越しを積極的に行うことにより、あたかも大ロットの物流制御のように自由に合流させ、合流地点での停滞をなくすことを狙っている。

3.3 システムの機能

本システムは2.3で述べた特徴を反映させ、Fig. 5のような流れに従って鋼片の物流制御方法を決定している。

Fig. 5 Flow chart

まず、はじめに、上位知識ベースを適用し、推論により振り分けの大きな戦略（パターン）を決める。上位知識ベースには小ロット用ルールと大ロット用ルールがあり、若干ルール記述が異なる。小ロットが対象になるとき、入口バッファ上にある複数個の小ロットをできる限りまとめて推論するので、条件部で考慮される項目はFig. 6のように、先頭のロットサイズ、1回の推論に含まれるロットの種類と平均疵取り時間、後続するロットの大きさ、などがある。結論部では振り分けの大きな方針として、1ラインのみを使う、2・3ラインを使う、全ラインを使うなどが与えられる。さらに、全ラインを使う場合でも、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、同時に推論される小ロットに対して、合流地点で先行ロットを追いついて次工程に進む“追越し”を行うかどうか

Rule No. 2

If
(lot size < 4) AND (number of lot sorts = 2)
AND (average grinding time > 100)

Then
(use 2 & 3 lines [S 23] AND change lot seq. order)
(use 2 & 3 lines [S 23] AND keep lot seq. order)

Rule No. 5

If
(lot size < 4) AND (number of lot sorts = 3)
AND (average grinding time < 100)

Then
(use 2 & 3 lines [S 23] AND keep lot seq. order)
(use 3 line only [S 3] AND keep lot seq. order)

Fig. 6 Small lot rules

[] 内に記されている記号は、下位知識ベースのサブルーチン名を示しており、続いて適用される対象レベルの知識（ロジックで記述）により、鋼材一本ごとの処理ラインが規定される。

大ロットの条件部では、制御対象となったピレットの平均疵取り時間、全体のロットサイズなどが考慮され、結論部では、振り分けパターンとライン使用比率を指定する。振り分けパターンとは、小ロットの場合とよく似ているが、ライン使用比率ではどのラインをどの位の比率で使うかを選ぶことができる。これらの比率は、制御対象のピレットが大ロットの前半部分に属するか、後半部分に属するかなどによって細かく指定される。

これらのほかに、大ロット・小ロットの共通の条件として、設備の空き状態、疵取機械の運転状態（使用可能または不可）などが考慮される。

つぎに、シミュレータ (Fig. 7) では、複数候補を定量的に評価する。この図で各ブロックは時間が消費される設備ごとに割り当てられている。ただし、シミュレーション時間を短縮するために、物流の停滞に関与しない

Fig. 7 Simulator

複数の設備は一つの設備として扱っている。この例では設備 A, B から設備 C, D への合流を示している。シミュレーション時刻の調整は合流後の設備から後向きに行われる。すなわち、設備 D では同時に存在できる製品数は一つなので、製品 c は先に処理されている製品 y との整合性をとるために到着時刻がシミュレーション時刻で 650 となる。これに伴い、製品 c の設備 A からの出発時刻が 605 から 650 に変更される。このようなシミュレーションの結果、評価関数を最適にするもの、ここでは終了時刻と待ち時間を最小にする候補を最終出力とする。

3.4 ケーススタディ結果

本システム適用による効果を調べるため、従来の振り分け方法と本システムでの振り分け方法を用いた場合について、比較した結果を以下に紹介する。用いたデータは実際に工場で流れているロット構成・疵取り時間である。以後用いているデータは、すべてオフラインでペトリネットシミュレータを用いて得た結果である。

はじめのケースは小ロットの連続する例である。この物流処理のガントチャートを Fig. 8, Fig. 9 に示す。図の横軸は時刻をあらわし、縦軸は工場内での分岐地点、合流地点、各疵取りラインなどの工程に対応している。図中の線分は、その時刻の範囲内に鋼片が対応する工程内に存在していることを示して

おり、線分に付した番号は鋼片が属するロットをあらわす。従来のシステム (Fig. 8) では、小ロットの鋼片が通過所要時間の長い 1 ラインを通ることにより、後続ロットに停滞が生じるのを避けるために 2 ラインを主に使っている。いま鋼片 7 に注目すると、振り分け時点で 2 ラインの入口バッファが一杯になったため 3 ラインへ振り

Fig. 8 Time chart
(small lot : conventional system)

Fig. 9 Time chart
(small lot : expert system)

分けられている。続く鋼片 8 の振り分け時点では再び入口バッファが空いたため 2 ラインへ投入されている。ところが、鋼片 7 では、この鋼片 8 の疵除去作業終了を待たため、Fig. 8 内に波線で示したように合流地点で約 4 分半の待ちが生じている。一方、筆者らの方法を用いた場合は (Fig. 9) 2, 3 ラインへ適切に振り分けられるた

め、鋼片7はほとんど待ち無しに合流できている。

つぎの Fig.10, 11 は大ロットの例を示している。大ロットの振り分けでポイントとなるのは1ラインの使い方である。すべての疵除去作業機械を使用するのが好ましいため大ロットでは1ラインを使うが、通過所要時間がかかるためうまく使わないと後続ロットを阻止する原

因になる。これを防ぐため、基本的なルールとしては、大ロットの前半には1ラインを多く使い、後半では1ラインをあまり使わないようにしている。ただし、先行ロットが2, 3ラインを占有しているか否かで前半のライン振り分け比率は微妙に変える必要がある。先行ロットの影響を計算により求めるのは大変な計算量を要するので、

いくつかの状況に対応できるようなライン比率の候補を選ぶことにより対応している。すなわち、前半で2ラインをほとんど使わない比率をあらかじめシミュレーション結果により決定、選択し効果をあげている。

上記の例以外にいくつかのロット構成例についてテストした結果を Table 1 にまとめた。Table 1 には、最初の製品がラインに入り始めてから、

(1) 最後の製品が分岐点からラインに入り始めるまでの時間

ならびに、

(2) 最後の製品が処理を終えて合流点に到着するまでの時間

に関して、従来システムのロジックと比較して短縮された割合が示されている。異なるロット構成による A から E までの5ケースのすべてについて、所要時間が短縮され、工場の生産性が向上しているのがわかる。このようなケーススタディ結果から、本システムの効果が確認できたとして実際の操業に適用したところ、生産所要時間で平均3%、途中工程での製品の待ち時間で平均15%短縮ができた。ちなみに、本工場は月産6万5千トンの生産能力を有するので、この結果は約2,000トンの生産量増加に相当する。

このように、本システムにおいては従来システムと比較して、ロット構成の変化などの様々な操業条件に対応するための、多

Fig. 10 Time chart
(large lot : conventional system)

Fig. 11 Time chart
(large lot : expert system)

Table 1 Effect of expert system
(Improvement of branch time and merge time)
(unit: %)

Case	Branch time	Merge time
A	3.99	5.17
B	3.99	6.24
C	7.59	4.78
D	11.89	10.94
E	5.00	8.05
Average	6.49	7.04

くの物流制御ルールが拡張されている。また、その中から定量評価により適切な制御方法が選択されるため、様々な操業状況において制御性能が向上している。従来システムにおいて、このような各種の操業条件を考慮した機能を追加しようとする、既存のロジックとの整合性の確認や、新規追加ロジックの性能の保証などが困難であり、実際には機能拡張を断念せざるを得なかった。本論文で提案した定量評価を導入したエキスパートシステムの構成を採用したことにより、このようなメンテナンス性の問題が解消され、適切な判断機能を持つ物流制御システムを実現できたといえる。

4. まとめ

本研究では、制御問題にエキスパートシステムを用いる際に、推論により導出された制御方法の効果の定量的評価を可能とするため、シミュレータを内包する新しいエキスパートシステム制御システムを提案した。

本システムはエキスパートシステム、シミュレータ、知識ベースから構成される。まず、エキスパートシステム部分で定性的に好ましい制御案を数個に絞り込んだのち、これらの候補をシミュレーションで定量的に評価する。これにより従来からエキスパートシステムの問題点であった定量性に乏しい面と、従来の制御プログラミング方式の問題であったメンテナンス性が互いに補われることとなった。また、知識ベースはそれが扱う問題の規模により上位と下位の二層に分けることにより、知識ベースのルール数縮小を実現した。

また、本方法を実機鋼片精整ラインでの物流制御に適用し、約3%の生産量増加が見込まれることがわかった。また、種々のケーススタディを通じ、悪いルールを追加した場合でも、シミュレータの評価により最終的な結果には影響を与えない信頼性の高いシステムが実現されることを確認した。

このように、従来技術としてのシミュレータとAI技術であるルールを融合させることにより、より高い精度の解を実用時間内に求めることができた。今後、実システムを開発する場合、このような融合技術がますます必要になってくるものと思われる。

参 考 文 献

- 1) 高橋, 田村, 小西, 奥野: ネットワーク計画法による溶銑処理計画; 第28回自動制御連合講演会予稿集, pp. 397~398 (1985)
- 2) 高橋, 田村, 小西, 花岡, 中川: 鉄鋼プロセスにおける最適物流計画作成方法; 第25回計測自動制御学会学術講演会予稿集, pp. 269~270 (1986)
- 3) 小西, 浅田, 檜崎, 大村: パーソナルコンピュータを用いた診断型エキスパートシステムの設計と応用; 第1回インテリジェントFAシンポジウム, pp. 55~58 (1987)
- 4) 鳩野, 山縣, 田村: ルールベースを用いたフレキシブル生産システムのオンライン・スケジューリング; システム制御情報学会論文誌, Vol. 4, No. 9, pp. 375~381 (1991)
- 5) 安信, 宮本, 井原: Fuzzy制御による列車定位置停止制御; 計測自動制御学会論文集, Vol. 19, No. 11, pp. 873~880 (1983)
- 6) 都島, 田代, 藤田, 馬場, 高倉: 流れ作業ライン制御へのルール型制御方式の適用—製鉄所のビレット精整ラインへの適用—; 計測自動制御学会論文集, Vol. 21, No. 10, pp. 1113~1120 (1985)
- 7) M. Konishi and K. Omura: AI Technologies for Factory Automation in Steel Industries; Pacific Conference on Manufacturing, Vol. 2, pp. 1107~1114 (1990)