

Application of Expert System to Material Handling System



入月 克巳
Katsumi Iritsuki
システム部システム研究室



山川 栄樹
Eiki Yamakawa
システム部 システム研究室



福村 聡
Satoshi Fukumura
システム部 システム研究室 主任研究員(課長)



野上 邦久
Kunihisa Nogami
川鉄システム開発(株)
第2事業本部千葉事業
所システム開発グル
ープ 主査(掛長)



生田 淳
Jun Ikuta
川鉄システム開発(株)
第2事業本部千葉事業
所システム開発グル
ープ

要旨

川崎製鉄では、千葉製鉄所において1990年に新物流管理システムを稼働させた。その中で、従来手法によっては開発困難と考えられていた計画立案サブシステムをエキスパートシステム技術を用いて開発した。「製品出荷トラック配車組」は、出荷対象の製品情報と出荷用車両の稼働状況に基づいて、各車両の出荷スケジュールを決定するシステムである。「内航船ストウェージプラン」は、船倉寸法や揚港の起重機特性を考慮して、積付レイアウトを設計するとともに、倉庫からの出庫順を決定するシステムである。

組合せ問題における競合解消の手段として、多重世界機構を利用した。処理効率向上を工夫し、計算機資源消費の大きい、多重世界機構を実業務へ適用することに成功した。

Synopsis:

Kawasaki Steel's Chiba Works has renewed its material handling system in 1990. The expert system technology was applied to two subsystems which have been understood as difficult ones to be systematized by conventional methods. "Vehicle assignment system for product shipment" plans a whole day's schedule for each transporting vehicle based on the information of various shipments per day. "Stowage plan of coastwise vessels" system designs the cargo layout of shipments in coastwise vessels, considering the sizes and shapes of each cargo space and characteristics of cranes; it arranges departure order for each ship from warehouses. As a method to dissolve competitions of combinatorial problems, "multiple world mechanism" is utilized. Contrivances to make the process efficient, led to a success in applying the multiple world mechanism, which costs a great deal of computer resources, to a real operation.

1 緒 言

生産管理に代表される製鉄所のシステム化は、情報技術の進展を背景として、単純な業務サポートから複雑なそれへと範囲を広げている。複雑な業務の代表の一つに、計画立案業務がある。計画はすべての管理活動のスタートポイントとなるものであり、それをいかに立案し、いかに守り、いかに評価・フィードバックするかが重要である。

川崎製鉄においては、現在、物流管理システムのリフレッシュを各事業所において実施しているが、そこでの大きな狙いは「輸送作業における計画性の向上」と「計画立案作業の効率化および計画内容の最適性の向上」である。しかし、高度な判断と意思決定をともなう計画業務は、手順的・定型的な定式化および解法の困難さから、今なお熟練者の専門的な知識・ノウハウによるところが少なく

ない。システム化の推進はここ数年のことである^{1,2)}。

一般に計画問題は、制約条件を満たし、かつ望ましい組合せを選ぶ「組合せ最適化問題」となる。しかし、現実の生産現場における計画問題は、定量的・定型的な枠組みでの定式化が困難であることが多い。従来から計画問題の解決手法としてORがあるが、複雑かつ大規模な現実問題の中ではその適用に限界がある。

今回、川崎製鉄では、エキスパートシステム技術を千葉製鉄所新物流管理システムの計画機能サブシステムである「製品出荷トラック配車組」および「内航船ストウェージプラン」に適用し、前者は1990年10月より、後者は1991年1月より実運用を開始している。

当論文では、上記二つのエキスパートシステム適用事例について概要を述べるとともに、その中で用いた、多重世界機構を利用した組合せ競合解消方式を紹介する。また、今回のシステム開発を通じて得られた、物流分野にエキスパートシステムを適用する際の留意

* 平成3年5月7日原稿受付

点についてまとめる。

2 新物流管理システムへのエキスパートシステム適用の背景

2.1 新物流管理システム構築の基本方針

鉄鋼業においても近年は、需要家の多様なニーズに柔軟に対応することが生産販売活動における重要な課題となっている。その一翼を担う物流分野でも、需要家の多様なデリバリー要求に迅速に対応する仕組みが必要とされている。

千葉製鉄所では1988年より物流管理システムの再構築に取り組んできた。Fig. 1に新物流管理システムの概要を示す。その基本方針は次の2点に要約できる。

- (1) 販売・生産管理システムとの連携をはかり、需要家要求に対する迅速なデリバリーや品質保証をはじめとする物流面での非価格競争力の強化を図る。
- (2) 物流業務を全体的に捉えた効率化を図る。

これらの実現には人員や設備の効率的な運用が不可欠であり、計画機能の充実が重要なポイントとなっている。

2.2 エキスパートシステム適用の背景

製鉄所の物流分野における計画問題の特徴は次のとおりである⁹⁾。

- (1) 製品の性格は基本的に一品ごとに異なり輸送機器も様々な形態を持つ。きめの細かい計画を立案するためには、これらの特性をすべて考慮する必要がある。
- (2) 物流における制約条件では、物理的・絶対的な基準のほかに、慣習的なものや、周辺業務との関係で目安としている事柄も多い。これらの優先度は状況に依存して変化する場合が多い。
- (3) 評価指標も多数あり、その重要度も状況によって変化する。

このような特徴から、定量的・定型的な枠組みですべてを規定するのは困難であることが多い。また問題規定できた場合でも状況変化とともに枠組みが変化し、その追従が困難ということもある。

そのため、計画業務に対する従来のシステム化は、担当者の立案負担を軽減するための情報収集や結果の伝達といった周辺業務サポートが主であり、立案そのものは担当者の経験に任されていた。

川崎製鉄では、1986年頃よりこの種の計画業務のシステム化に、エキスパートシステムの適用を図ってきており⁴⁾、その有効性を評価してきた。今回の新物流管理システム構築にあたっては、基本設計を進める過程で、従来手法での解決が困難とされた二つの計画サブシステムに関しては、エキスパートシステム技術の適用が有効と判断した。

ここで取り上げた二つの事例は、エキスパートシステムの問題タイプとしては、一方はスケジューリング問題、もう一方は設計問題になっており、それぞれのタイプの特徴がよく表れている。

3 製品出荷トラック配車組システム⁵⁾

3.1 問題の概要

製品出荷トラック配車組とは、出荷可能な製品の情報と、それに基づいて毎日行われる顧客との納入折衝の結果を受けて、出荷用車両の一日の作業スケジュールを決定する業務である。

この計画業務は、多数の制約条件を満足させた上で、車両の利用効率を上げる必要があるため、熟練担当者にしかな立案できないものであった。また、必要な情報の収集・整理を含めて納入日の前々日に九一日の作業時間を要していた。そのため、需要家からの緊急の出荷要求への対応が難しい、車両利用効率向上に限界があるなどの問題を抱えていた。

計画問題としての定義を以下に示す。

3.1.1 前提条件

- (1) 出荷すべき製品は事前に与えられる。出荷品に関する主な特性は納入先、納入時刻、梱包形状、寸法、重量および積み姿指定である。一日当たりの対象出荷品数は、400~800個である。
- (2) 需要家の指定する製品受渡し場所が納入先となる。主な制約は、受入作業時間帯、車両制限および積付方式指定である。
- (3) 製品出荷には、原則として事前に登録された車両のみを使用する。その中には、終日非稼働のものや使用時間帯の制限があるものがある。主な特性は、積載可能重量、荷台形状、車両形状および車両寸法である。ちなみに一日当たりの計画対象車両数は80~100台であり、一日に1~3回転の輸送作業を行う。

3.1.2 制約条件

出荷品、納入先、車両およびタイミング（時間）の4つの要素間に様々な制約条件が存在する。

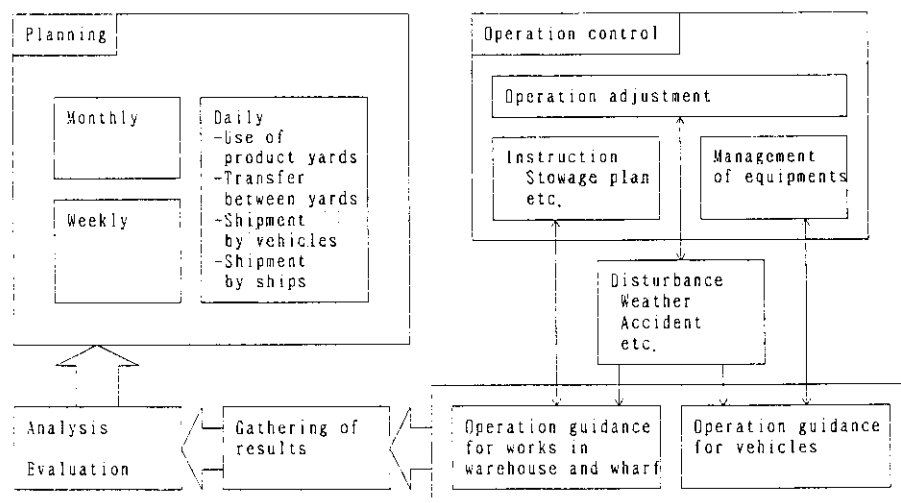


Fig. 1 Structure of new material handling system

Vehicle No. (loading capacity)	1st delivery	Work hours	2nd delivery	Work hours	3rd delivery	Work hours
	Product No. :Shipping yard		Product No. :Shipping yard		Product No. :Shipping yard	
1 2 4 5 (2 6 t)	A Company	7:30 ~ 11:30	A Company	7:30 ~ 11:30		
	FG05341~FG05344 : S1 FG05349 : S3 (25.4t)		FP05578~FP05579 : T5 FP05581~FP05582 : T5 (23.7t)			
2 5 5 6 (3 0 t)	K Company	7:50 ~ 10:40	Y Company	10:40~ 12:50	Y Company	7:30~11:30
	ET12894~12899 : S1 (28.8t)		EK13812~EK13814 : H4		EK13815~EK13816 : H5	

Fig. 2 Output sample of vehicle assignment table

(1) 出荷品とタイミング

ex)「朝一番での納入指定がついているものは、**時までに納入先に到着すること」

(2) 出荷品と車両

ex)「出荷品の荷姿が**ならば、荷台形状タイプが**の車では不可で、**が望ましい」

(3) 納入先と車両

ex)「納入先が**ならば、**m以上の長さの車両は不可」

(4) 納入先とタイミング

ex)「納入先が**ならば、作業時間帯が**時~**時なのでその間に、到着して卸せるようにする」

(5) 車両とタイミング

ex)「車両**は、午後定期点検に入るので、**時までに帰ること」

3.1.3 評価項目

- (1) 輸送能力の有効活用のため、車両の積載率を上げる。
- (2) 複数置場の出荷品の混載を極力避ける。製鉄所では広大な敷地内に多くの製品置場が存在するため、複数の置場からの積込みは作業効率を著しく低下させることになる。
- (3) 車両ごとの稼働時間は、できるだけ平均化する。

3.1.4 立案内容

主な立案内容を配車結果表で示す (Fig. 2)。

3.2 問題解決方式

当システムは基幹システムと連携してワークステーション上で稼働する。基幹システムで準備した出荷品情報、トラック稼働可能時間帯などの必要データを読み込んで配車組を行い、結果を基幹システムに伝送する。基幹システム側で計画担当者が最終確認を行い、必要があれば修正を加える。Fig. 3 に推論部の機能構成を示す。

(1) データの準備

計画立案に必要なすべてのデータを準備する。

(2) 出荷品の配車順の決定

出荷品の属性から、効率的な立案ができる順番を決める。順次選択される出荷品群について以降の処理を行う。

(3) 出荷品と車両のつきあわせ

選定された出荷品群について、出荷品の荷姿、重量、寸法や納入先の間口、機器特性等の物理的制約、納入指定時刻や輸送車両スケジュールに関する時間的制約等に基づいて、出荷ロット編成と輸送車両の割付およびスケジュール決定を行う。

(4) 押し出し配車

全候補車番がほかの出荷品とスケジュール競合した出荷品を対象に、既割付品の調整による組合せ競合の解消処理「押し出

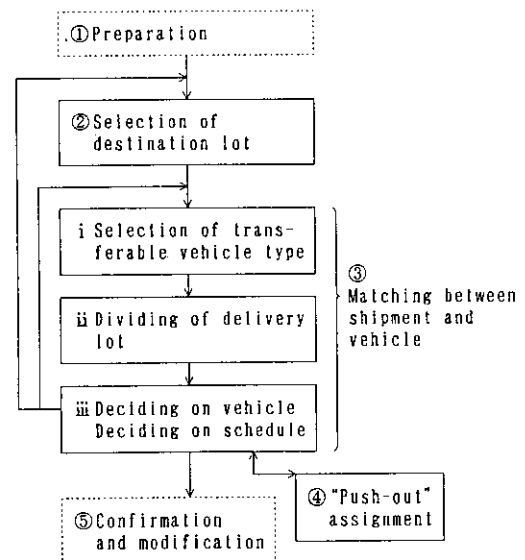


Fig. 3 Inference procedure of the vehicle assignment system

し配車」を行う。詳細は5章にて述べる。

(5) 計画結果のまとめ

最終的に出来上がった計画結果を必要な形式にまとめる。

3.3 システムの評価

当システムは1990年10月に稼働した。以下に、システム評価について述べる。

3.3.1 計画レベル

従来の計画担当者による立案結果と、当システムでの立案結果を比較したものが Fig. 4 および5である。前者はトラック当たりの積載率(計画積載量/積載可能重量)の分布を示すが、システム配車組の方がややばらつきは大きくなっているものの、平均積載率としては向上が見えた。また後者はトラックに積み過ぎロットが、いくつかの置場にある製品から構成されているかを示す分布図である。システム配車組の方が1箇所積みが多くなっており、作業性が向上することがわかる。

3.3.2 自動化レベル

当システムでは自動計画組の後に計画担当者が介入できる機能を備えているが、現実の運用で修正が必要となっているのは3~4%程度である。これらは、もともと納入先ロットが小さく一便分に満たないものであり、計画担当者は異なる納入先の出荷品を積みあわせるという特殊な処置をとるのである。

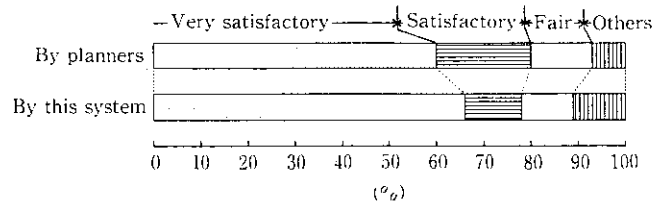


Fig. 4 Comparison of loading ratio per a delivery lot between the planner and the vehicle assignment system (sample: Aug. 28~Sep. 8, 1990)

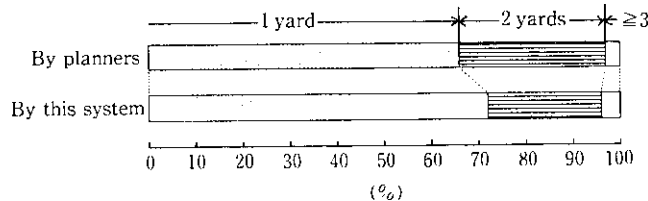


Fig. 5 Comparison of mixed shipments at storage yard per delivery lot between the planner and the vehicle assignment system (sample: Aug. 28~Sep. 8, 1990)

4 内航船ストウェージプランシステム

4.1 問題の概要

ストウェージプランは、出荷命令対象品を船の船倉寸法や揚港の起重機特性を考慮して、Fig. 6 に示すような船倉内の積付レイアウトを設計する問題である。当システムでは、積付位置図を出力することにより現場の荷役作業指示を支援し積付品質の均一化を図るとともに、決定した積込順を倉庫内の作業計画に反映することで、製品が船積したい時にタイムリに岸壁に到着することを目指している。問題定義は以下のとおりである。

4.1.1 前提条件

- (1) 出荷品は一船ごとに与えられ、主な特性は梱包形状、置場、品種、寸法および重量である。対象出荷品数は、一船当たり、数十~数百個である。
- (2) 国内向けの小型鋼船を立案の対象とする。主な特性として積載可能重量および船倉の寸法がある。

4.1.2 制約条件

積付形態については、積付作業基準（社内標準）が定められている。また、揚港に関する制約として起重機特性がある。これは、船倉内の指定領域に積込可能な製品単重に関する制約である。これらをまとめると次のように分類できる。

- (1) 一例（船幅方向）を構成する製品の制約
ex) 「コイルの段積みをする場合は、幅のばらつき範囲は**mm 以内かつ重量のばらつき範囲は**%以内」
- (2) 一列内の位置による製品間の制約
ex) 「上段のコイルの重量は、下段2コイルの平均重量の**%~**% であり、外径は下段2コイルの小さい方の外径より**mm 以上小さいこと」
- (3) 列の配置位置に関する制約
ex) 「船尾より**m 以内には、2段積みは配置しない」
- (4) 隣り合う列同士の間隔に関する制約
ex) 「隣り合う列同士はそれぞれの最大幅ラインの間隔が、向け先で指定された間隔以上に空いているようにする」
- (5) 複数納入先（港）の製品群配置に関する制約
ex) 「同一納入先の製品は原則としてまとめるが、卸し順を考慮して、すべての航海中に前後のバランスがとれるようにする」

4.1.3 評価指標

明確な基準としては存在しないが、望ましい計画として次のような項目がある。

(1) 積込順番

製品分布に応じて、製品品質保証の点や作業効率の点で望ましい積込順番がある。

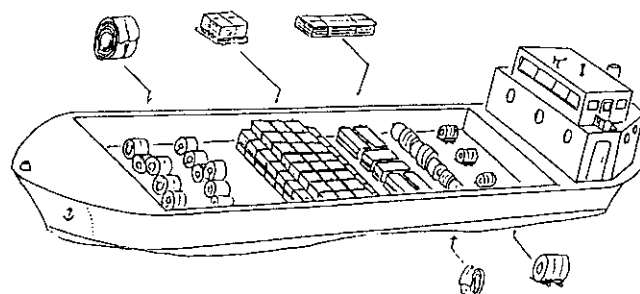


Fig. 6 Stowage of steel products in a ship

(2) 積込場所

製品の種類によって、場所あるいは積込順としてまとめて配置したいものがある。

製品の形状ごとの制約条件や望ましい積姿は、各船長および現場の船積み作業監督者が熟知している。しかし、多数の製品の特徴を把握して限られた時間内で積付明細および出庫作業順を指示することは不可能であり、頼りにすべき熟練者は見いだせなかった。そのため、通常のシステム開発と同様に、決め込む項目ごとに作業を分割し、その中に知識を当てはめていくという開発手順を採った。

レイアウト設計問題の難しさには、2通りの場合が考えられる。一つは、与えられた容器にさまざまな形の品物を詰め込む場合で、充填率を高めたいという明確な価値観を持ったパッキング問題となる。他方は、容器の大きさに比べて品物のサイズは小さいものの、その数が多く、それらの配置形態や近接する品物相互間の関係にさまざまな制約条件が課せられるため、可能なレイアウトを発見するのに相当時間がかかる場合である。ストウェージプランは、後者のタイプに属し、制約条件の複雑さに比べて結果の良し悪しを定量的に評価する指標が見いだしにくい。すなわち、問題の質的難しさよりも、量的な困難を乗り越えられるかということである。

4.2 問題解決方式

推論対象としてある船便が選択されると、同便に船積する製品の出荷命令情報と製品在庫情報の抽出、対応する船舶と揚港の特性を保持した基準の検索が基幹システム側で行われ、推論データとしてワークステーションに伝送される。推論の結果は積付位置図として出力されるとともに、各製品の列、段および積込順が決定されて基幹システムに送り返される。

推論部では、以下の三つの特徴的な部分問題を解くことにより積付レイアウトを決定している。

4.2.1 積付ラインの形成

数十～数百個の製品を、その荷姿ごとに定められた形態で船の舷側方向に一列に並べて配置する、数～数十個の製品群として積付ラインを形成する。

製品の荷姿により縦置するか横置するかは積付基準で規定されており、隣接する製品の寸法および重量の差を一定範囲内に制限する制約条件が課せられる。また、同じ置場、品種およびオーダーの製品は同じ積付ラインの中に固まるように配置したいという要求がある。ストウェージプランそのものに充填率の最大化という価値観は存在しないが、後々調整する際の自由度が大きくなるという実務的な利点がある。そこで、現実の船積ノウハウとパッキング問題の近似解法との接点をとる形で、対象製品をその置場と品種ごとに幅および重量で事前に降順ソートを行い、制約条件を満足する製品を探索しては船倉幅一杯になるまで積付ラインに詰込んでいくという方式を採用した。

4.2.2 船倉内の配置決定

各積付ラインを、可能な限りその積付形態ごとに定められたもっとも望ましい領域に配置し、列番号を発番する。

10～20の積付ラインの並べ換えをすべて列挙することは、膨大な処理を必要とし事実上不可能である。しかし、望ましい配置領域が同じものでグループ分けすると、その数はたかだか5種類程度となる。そこで、列挙法で耐え得る6グループを上限として、所属する積付ラインの数にできる限り偏りが生じないように各積付ラインをその望ましい配置領域をもとにグループ分けし、それらのすべての並べ換えを生成して配置の望ましさを順次評価することにした。

4.2.3 船内積込順の決定

船の前後のバランスを考慮しながら積付ライン単位の積込順を決定するとともに、船の左右バランスを考慮しながら各積付ライン内の製品配置と一品一品の積込順を決定する。前者では4.2.2で決定した配置位置をもとに、2～4ラインを1グループとして船首・船尾交互に積込順を発番する。後者では、積付ラインごとにモーメントが最小となる配置を決定し、積込順に沿ってその船全体への寄与が小さくなる方向に順次向きを決定している。

4.3 システムの評価

システムで出力した積付明細にしたがって実際に船積を行った結果、キーコイルの配置や積付に伴う品質保証および積付基準集に定める制約条件の遵守という面では問題がないことが確かめられた。ただ、船ごとに載貨物分布と前後方向の傾きとの間に固有の癖があることから、システムの出力した積付明細に対してなお数%程度の修正が必要となっている。

5 組合せ競合の解消法

ここで紹介した2事例のような組合せ最適化問題では、解探索において選択肢の中から一つを選び、行き詰まった際には戻って別の選択肢を選ぶという試行錯誤的処理が必要である。

ここでは、4章で紹介した外販トラック配車組システムの具体例を用いて、多重世界機構⁶⁾を利用した組合せ競合の調整方式を紹介する。これは、組合せ競合の解消のための変更案を、煩雑な記述をすることなく、かつ効率的に見いだせるものである。

5.1 多重世界機構の適用

出荷ロットに対して制約条件を満たす車両を見いだせず、決定済の組合せを変更しなければならない状態(競合)が発生することがある。この時、割付済出荷ロットの変更候補車両を仮決めたWorld(仮説空間)の生成を行い、各Worldで制約条件のチェックを行い、すべての変更先が得られたWorldを真とする(変更先確定)ことにより競合解消を得る。

多重世界機構の適用方法はFig. 7のとおりである。

- (1) 既に割り付けられた出荷作業のうち一つを解約すれば当該出荷品(K)が輸送可能になる割付車両と割付変更を行う出荷品を選定する(World-1のD, World-2のB)。
- (2) 変更対象となった出荷品が持つ割付候補車番の中から、変更用の車両を探す(出荷品Dの割付変更のためにWorld-3, 出荷品Bの割付変更のためにWorld-4を生成)。
- (3) 代替車両がなければ(World-3において、Dの車両04への変更は不可)、変更先として他の車両を検討する、別の出荷品の割付変更を選定する(World-2以降)、押し出しの連鎖を深くする(World-5)ことを順次行う。
- (4) 代替車両があれば、配車変更を確定する(World-5において、出荷品Fを車両05に割り付けた状態)。

多重世界機構はこのような処理に適した手法であり、煩雑な記述をすることなく、仮説準備、仮説生成、競合解消の確認、仮説棄却および仮説整理の五つの機能で実現することができた。なお、配車表上の動きはFig. 8に示すとおりである。

5.2 実用化への対処

一般に、多重世界機構は多くの処理時間や計算機資源を必要とし、実用規模問題を解く場合には障害となりがねない。当システム

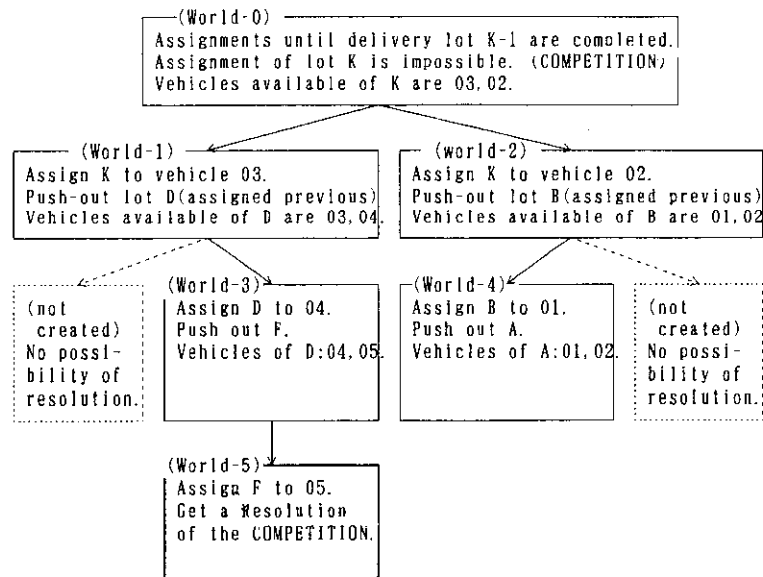


Fig. 7 Application of multiple world mechanism to vehicle assignment system

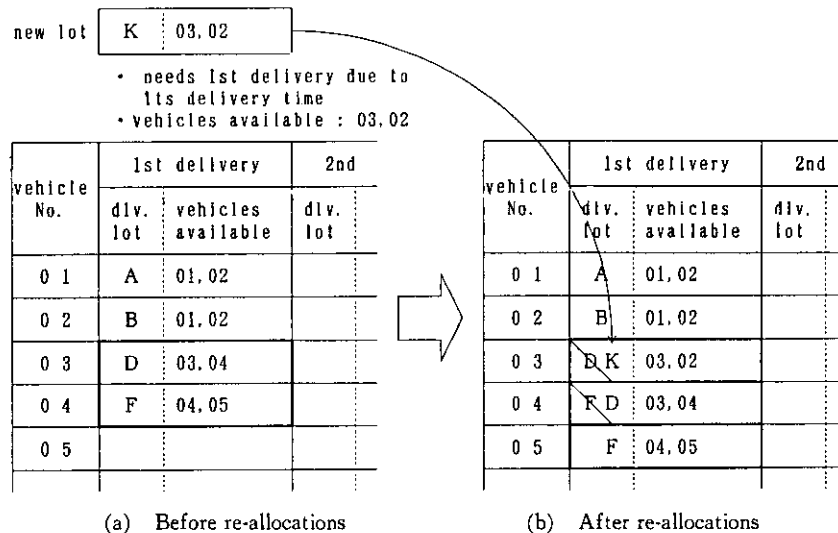


Fig. 8 Re-allocations of delivery lot on assignment table

では、次のような考えにより処理の効率化を図った。

- (1) 通常は単一世界内での探索にとどめ、競合発生時のみ多重世界機構を利用した調整を行う。
- (2) 事前に競合解消の可能性に関する簡単な判定を行い、展開する世界の数を最小限に抑える。
- (3) 多重世界の構成も原理的にはすべての可能な組合せをたどれる構造とするが、競合解消の可能性を考慮した効率的な順番で仮説検証を行う。

以上のような工夫に加えて、ルール条件部のパターン記述を工夫するなどして、当初3時間程度要していた推論時間を30分程度にまで低減させ、実運用に耐えるものとなった。

6 エキスパートシステム適用上の留意点

- (1) コンピュータによる計画で完璧なものを追いすぎないこと

これは今まで述べてきたことからすれば、やや逆説的な表現になるが、物流分野では留意しておきたい点である。

「製鉄業は輸送業である」とか「物流分野は効率化の宝庫」といわれて久しい。自動化技術の導入があったとはいえ、物流分野はまだまだ人手による作業の比重が大きい。また天候など外的環境に左右されることも多い。このような実態を見きわめることなしに、いくら最適な計画を立案しても、実行が伴わなければ「計画倒れ」に終わってしまう。

そこで物流分野では、多大な時間をかけて精緻な計画を立てるシステムよりも、人間の手が加えやすいようなシステム、状況変化に応じて再計画が立てやすいようなシステムが望まれる。

- (2) 運用が定着するまで息長くレベルアップを継続すること

何度も述べてきたように、物流分野の計画問題では多くの制約条件、多くの評価基準が存在し、一つの計画結果も視点を変えると非常に良い結果に見えたり、悪く見えたりする。専門家

たる熟練担当者として、唯一絶対の価値尺度を確立しているわけではないので、しばしばシステムの出す結果に疑問の生じることがある。システムの機能不足の場合も、熟練担当者の勘違いのこともある。いずれにしても徹底的にフォローする必要がある。これは、「エキスパートシステム特有の手離れの悪さ」と評される面であるが、問題自体の難しさと解すべき事項である。

一般にシステム化の一つの大きな価値は、属人的でブラックボックス化しがちな人間業務を、明文化されたプログラムとして表し、議論の対象となりうるようにする点にある。その意味では、従来手法によるシステム化の対象としにくい問題にもアプローチできるエキスパートシステムは、物流分野にもっと積極的に導入していくべきである。

7 結 言

当論文では、物流管理システムのリフレッシュの中で行った計画業務のエキスパートシステムに的を絞り、事例の紹介と技術的考察および開発上の留意点について述べた。主な要点は次のとおりである。

(1) 物流管理における計画業務は、定量的・定型的な枠組みで規

定することは困難であり、熟練者の効率的な解決手段を利用するエキスパートシステムはその有効な解決手段の一つである。物流管理システムの再構築にあたり、二つのサブシステムにエキスパートシステム技術を適用した。

「製品出荷トラック配車組」は、出荷可能な製品情報に基づいて毎日行われる顧客との納入折衝の結果を受けて、出荷用車両の一日の作業スケジュールを決定する業務である。問題の性格は、スケジューリングタイプに属するものである。

「内航船ストウェージプラン」は、出荷品を船の船倉寸法や揚港の起重機特性を考慮して、船倉内の積付レイアウトを設計する問題である。当システムは、積付品質の均一化とともに、決定した積込順を倉庫内の作業計画に反映し、出荷品のタイムリな岸壁到着を目指している。

(2) 組合せ問題における競合解消の手段として、多重世界機構を利用した。処理効率向上を工夫し、計算機資源消費の大きい、多重世界機構を実業務へ適用することに成功した。

(3) 今回のエキスパートシステム適用の一つの大きな意義として、これまで属人的な技能に頼っていた業務を標準化したことがある。特に問題が複雑で、その良否の判断が難しい物流計画においてはこのような手法をより積極的に使ってその内容を顕在化することが、今後の効率化にとって有効である。

参 考 文 献

- 1) 小林重信:「計画型エキスパートシステム:現状と課題」, 計測自動制御学会講習会“計画型エキスパートシステム”資料, (1984)
- 2) 日経 AI 編:「着実に実用化が進む計画型エキスパートシステム」, (1984), [日経 BP]
- 3) 福村 聡:「鉄鋼業における計画型エキスパートシステム」, 計測自動制御学会講習会“計画型エキスパートシステム”資料, (1984)
- 4) 福村 聡, 佐能克明, 山川栄樹: オペレーションズリサーチ, 33(1988) 1, 33-39
- 5) 入月克巳, 福村 聡:「製品出荷トラック配車組エキスパートシステム」, 情報処理学会第42回全国大会, (1991)
- 6) 淵 一博, 古川康一, 溝口文雄:「知識プログラミング」, (1988), [共立出版]