
A I を適用した汎用物流シミュレータ

A Simulator for Wide Spreading Materials Handling by Using AI

藤本 英男(Hideo Fujimoto) 柳原 紀彦(Norihiko Yanagihara) 室 善一郎(Zen-ichiro Muro)

要旨：

A I 技術を適用し、シミュレーション業務を効率化させた汎用物流シミュレータを開発した。システムの構成は、ベースとして導入したエキスパートシステム構築支援ツールおよびシミュレーションツールと、このベース上で新たに開発した汎用シミュレータ、これらの稼働環境としてのワークステーションからなる。本システムの特徴は、オブジェクト指向の考えを取り入れた部品化再利用の実現と、ルール形式による条件や判断の記述を可能とした点、および対話型モデリング環境を整備した点にある。これにより以前は数週間かかっていた解析が数日でできるようになった。

Synopsis：

Applying AI technology, Kawasaki Steel has developed a simulator for improving the field of simulation works. This simulator consists of the base in which a tool for expert system building and a simulation tool are used, the newly developed simulator using this base, and the executive work station environment for the simulator. Characteristic features of the new simulator are repetition of using any simulator portions by means of the object oriented method, ability to express conditional sentences, decisions and others in the rules, and systematization of conversational modeling environment. By this simulator the entire resolving process can be accomplished in only a few days compared with several weeks required in the past.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

A Simulator for Wide Spreading Materials Handling by Using AI



藤本 英男

Hideo Fujimoto

システム部システム研
究室 主任研究員(掛
長)



柳原 紀彦

Norihiko Yanagihara

水島製鉄所 企画部能
率室 主査(掛長)



室 善一郎

Zen-ichiro Muro

千葉製鉄所 企画部能
率室 主査(掛長)

1 結 言

鉄鋼業では、競争力強化を目指したリフレッシュにおいて、生産の仕組みを見直すための、物流関連の検討テーマが多数発生している。特に、近年の生産構造の急速な変革に呼応し、物流問題が増加傾向にあり、かつ高度化している。この物流問題に対し、従来よりシミュレーションによる問題解決が重要な役割を果たしており、特に、ホストコンピュータ上の汎用ツールを用いたコンピュータシミュレーションが利用されてきた。

しかしながら、問題の内容が複雑化、緻密化、大規模化してくるにつれ、シミュレーションモデルの開発に多大な工数を要するようになり、タイムリーな問題解決に支障をきたすなどの問題が顕在化してきていた。そこで、シミュレーションモデルの開発生産性を飛躍的に向上させることを狙いとした、汎用物流シミュレータを開発した。

本論文では、このシミュレータの狙い、開発の基本的考え方、概要と特徴、システムの評価および今後の展望について述べる。

2 開発の背景と狙い

2.1 業務概要と問題点

設備のリフレッシュに際して、シミュレーションによる問題検討のニーズは高く、しかも内容が高度化してきている。例えば、設備の連続化・同期化、納期の厳守、多品種小ロット生産といった生産構造の変革は、対象とする設備・工程やデータの多様性から、シミュレーションでのみ検証が可能である。特に物流問題では、ロットサイズや品種構成の変動、設備間の干渉、錯綜した工程など問題を複雑化する要因が多い。これらの点から、シミュレーションに対す

要旨

AI 技術を適用し、シミュレーション業務を効率化させた汎用物流シミュレータを開発した。システムの構成は、ベースとして導入したエキスパートシステム構築支援ツールおよびシミュレーションツールと、このベース上で新たに開発した汎用シミュレータ、これらの稼働環境としてのワークステーションからなる。本システムの特徴は、オブジェクト指向の考えを取り入れた部品化再利用の実現と、ルール形式による条件や判断の記述を可能とした点、および対話型モデリング環境を整備した点にある。これにより以前は数週間かかっていた解析が数日でできるようになった。

Synopsis:

Applying AI technology, Kawasaki Steel has developed a simulator for improving the field of simulation works. This simulator consists of the base in which a tool for expert system building and a simulation tool are used, the newly developed simulator using this base, and the executive work station environment for the simulator. Characteristic features of the new simulator are repetition of using any simulator portions by means of the object oriented method, ability to express conditional sentences, decisions and others in the rules, and systematization of conversational modeling environment. By this simulator, the entire resolving process can be accomplished in only a few days compared with several weeks required in the past.

るニーズは今後も増加の傾向にあると考えられる。

シミュレーションによる問題解決手順をまとめると、Fig. 1 に示すステップで表現できる。解析のベースとなるデータは、ホストコンピュータ上にある実績を利用することが多く、従来よりホストコンピュータを利用した解析を行ってきた。Fig. 1 の No. 1~3 の現状分析や、No. 5 の必要データ編集では、総合品質管理解析システム¹⁾や科学技術計算システム²⁾等を利用してきた。また、No. 4 以降のモデルの構築・実行では、汎用離散系シミュレーション・ツールである GPSS を適用してきた。

ところが、対象とする問題の増加や、問題に要求される解析内容が年々複雑になってきている点から、以下に示す問題がある。

- (1) 従来のツールでは複雑化するモデルの構築に適用できず、FORTRAN 等の言語による開発を必要とし、工数が多い。また、このツールの難解さから、習得している者が少なく、特定の人に作業が集中する。
- (2) 出力データの分析、表示に対して、きわめて複雑なプログラミングを必要とする。
- (3) 一般にシミュレーションは、問題解決過程のなかで、例えば、設備レイアウトや物の流し方といった前提仕様を探っていくことが重要である。そのため、モデルの変更が頻繁に生じ

* 平成3年5月7日原稿受付

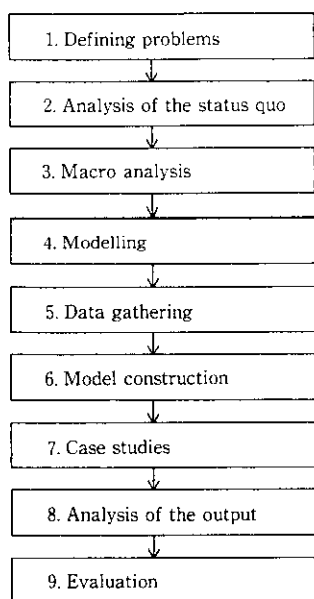


Fig. 1 The procedure of simulation

る。従来のツールでは、そのつどプログラミングレベルの変更が必要である。その上、モデルの再利用による作業の効率アップといった方策も採れない。

2.2 開発の狙い

前述した問題点を解消するために、シミュレーションによる問題解決業務に対するコンピュータ支援の位置づけを明確にし、開発の狙いを定めた。

Fig. 1 の No. 1~3 および No. 5 では、ホストコンピュータ上のデータを利用すること、人間による判断が主体であること等の理由で従来のホストの解析ツールを活用する。No. 4 以降では、前述したように問題点が多く、開発の効率化、ケーススタディの充実、質的向上等の改善を狙いとし、コンピュータ支援環境を向上させる。具体的な狙いとして以下の項目を設定した。

- (1) 難解なシミュレーション言語を習得しなくとも、モデルの構築が迅速にできること。
- (2) 複雑な判断ロジックを容易に表現できること。
- (3) モデルの動作状況を視覚化させ、デバッグや問題点発見を迅速にする。さらに、検討ケースの比較を容易にする。
- (4) シミュレーション技術の蓄積・標準化を図り、一般の技術者にもシミュレーションを可能とする。

これらの狙いを実現することにより、シミュレーションを用いた問題解決を、数日でできるようにするのが大きな狙いである。

3 汎用シミュレータ構築の考え方

3.1 システム化の範囲

システム化の範囲を設定するためには、(1)対象とする問題を整理し主要なテーマを想定することおよび(2)その問題に対して支援する機能内容を明確化することが重要である。以下に順に説明する。

3.1.1 対象問題

過去数年にわたる物流関連のシミュレーション事例と今後予想されるテーマより、対象とすべき主要な分野を設定した。以下、それぞれについて考慮すべき点を中心に述べる。

(1) 搬送設備の能力検討

物流問題の主役である搬送設備の能力検討に関するテーマである。ここで想定している問題は、工場内および工場間の物流設備全般の搬送能力を検証する問題であり、対象となる関連設備は製鉄所の全域にわたる。したがって、モデル化において対象となるのは、工場内であればクレーン、台車、コンベア、移載機、置場、ラインなどがあり、工場間では、トラクタ、ディーゼル、貨車、リフト、トビードなどがある。モデル化で考慮しておくべきことは、設備間の干渉を表現できなければならない点である。この干渉を考慮に入れたモデル作成は、作業の優先順、干渉時の対応、など条件設定が難しいばかりでなく、モデル化にも時間を要する。したがって、効率的にモデル化できるように考慮する必要がある。

(2) 運転方案の検討

搬送設備で、多く扱われるもう一つのテーマが、運転方案の検討である。ここ数年、搬送設備の自動化が進んできており、特に、ルール制御による自動化が実用の段階に入っている。当社においても、水島製鉄所の EGL 搬送台車、千葉製鉄所第一冷圧工場内搬送設備などの事例があり、今後も同様のテーマが出てくると想定している。この自動化に際し、設備の運転ロジックをシミュレーションで試行することにより設定するというニーズがある。そこで、運転ロジックを容易に設定および変更ができるようにし、運転方案検証モデルの作成と変更を効率よく行えるように考慮する。

(3) 設備仕掛量の検討

仕掛に関するシミュレーションでは、前後工程において物が投入あるいは払い出されるタイミングを、的確に表現する必要がある。さらに、これを簡単に変更できる機能が必要である。

(4) リードタイムの検討

ある対象が、複数の工程を通過して処理を終了するまでのリードタイムに関する問題がある。物がどの工程を通過したかを記憶させておく機能と、どのタイミングでその工程を通過したかという途中経過を記憶させておく機能が必要となる。これらの機能をモデルごとに作成するのは効率的でない。したがって、これらの機能を簡単に定義できるように考慮しておく。

3.1.2 支援する業務の機能範囲

シミュレーションによる問題解決手順では、モデルの構築からその実行および評価までに、多大な工数が掛かることはすでに述べた。ツールとしては、このプロセスを一貫してサポートすることが重要である。今回開発する汎用シミュレータの持つべき支援機能は、以下に示す諸点である。

(1) モデル化サポート機能

モデルを容易に作成、変更させることができる機能が必要である。最新のシミュレーションソフトは、対話形式によるディスプレイ上でのモデルの作成、変更を可能にしている。この機能を利用し、シミュレーション言語によるコーディングを必要としないモデル化機能が有効である。

(2) アニメーション機能

シミュレーション過程や結果を、ディスプレイ上にアニメーションで表示することにより、モデルのデバッグや問題点の発見が容易になる。これにより、代替案の比較・検討が効率的に行えるようになる。また、第三者に対するプレゼンテーションにも有効である。

(3) 解析用データの収集機能および表示機能

シミュレーションの結果を評価するために、図および表によ

る表示機能が必要である。上記のアニメーション機能と同様に、結果分析・評価、レポートなどの効率化に威力を発揮する。

3.2 実現のための採用技術

以上の改善の狙いおよび必要機能を実現する方策は以下のとおりである。

(1) モデルの部品化再利用を可能とする

ソフトウェアの生産性向上の有力な方法の一つである部品化再利用を可能とし、あらかじめ用意した部品を組み立てることのみでシミュレーションモデルの構築を可能とする。これにより、難解なシミュレーション言語の習得も不要となる。

(2) AI 技術の適用によるモデル表現力の向上

問題の複雑化に対応し生産性を上げる方法として、ルールによる判断ロジックの表現が有効である。また、部品の中でルールを自由に使用できる環境を整える。

(3) HMI の充実したツールの有効利用

最新のシミュレーションツールは、対話形式のメニュー画面を利用したものが主流となりつつある。しかも、入力が容易であり、多様なグラフ作成機能があるなど使いやすい。これら最新のソフトをベースにし、その HMI 機能を有効利用する。

これらを実現するため、最新のシミュレーションツールを導入し、その機能を流用しながら、鉄鋼の物流に範囲を限定した部品および一般的な物流にも適用できる汎用部品からなる汎用ツールを開発することとした。

4 シミュレータの概要および特徴

ここでは、まずシミュレータの全体構成を示し、次に特徴的な部分であるオブジェクト指向による部品化およびモデル内でのルールの利用について述べる。

4.1 システム構成

Fig. 2 に本シミュレータのシステム構成を示す。ベースとなる

最新の汎用離散系シミュレーションツールとして SIMKIT (simulation kit) および KEE (knowledge engineering environment) を、これらの稼働環境として SUN (ワークステーション) を導入した。最新のツールとしては、この他にも SLAMII, SEE-WHY などがよく知られているが、開発の容易性、モデルの拡張性、モデルの汎用性、ルールの表現力等を重視し、SIMKIT を採用した^{4,5)}。

SIMKIT は、エキスパートシステム構築支援ツールである KEE 上に構築されたシミュレーションツールであり、KEE の持つエキスパートシステムの機能（前向き、後ろ向き、双方向の推論機能および仮説推論）を利用できる。また、オブジェクト指向の概念を取り入れたツールであり、その構成要素（部品）はすべてオブジェクトとして表現する。

汎用物流シミュレータは、SIMKIT をベースとし、鉄鋼の物流専用の部品を付け加え、さらにウィンドウ構成を使いやすく変更することで、この SIMKIT や KEE の存在を意識することのないシステムとした。

4.2 オブジェクト指向による部品化

オブジェクト指向言語は、その歴史的背景からシミュレーションに対して適合性があるといわれている^{6,7)}。また、オブジェクト指向は、プログラムのモジュール化、部品化・再利用を極限まで実現する環境を提供しているため、当シミュレータの狙いとするモデルの部品化・再利用と適合しており、実現に有効な技法と判断した。以下に部品構成と部品化の方法について述べる。

4.2.1 部品構成

Table 1 に本シミュレータの部品構成を示す。作成した部品は全部で 21 部品であり、機能別に分類すると 59 種類のモデルのタイプが存在する。これらの部品は、基本部品群、設備部品群、搬送部品群に大別できる。基本部品群とは、一般的なモデル構築には必須の機能を表現するものであり、例えばモデルの中を動く物を発生・消滅させるものである。設備部品群とは、圧延ラインや焼鈍設備等の物を処理する設備を表現する部品群である。搬送部品群は、クレーンや台車など、物を運搬する設備を表現する部品群である。

Table 1 List of parts

Classification	Name of objects	Function
Basic parts	SOURCE SERVER QUEUE SINK ITEM	Item creation in the model Item processor Temporary item holder Item terminator Parts of a model to be processed
Facilities	LINE ASSEMBLE BATCH FURNACE SKID YARD	Multiple processor Assemble facilities Batch processing facilities Furnaces Skid Store house
Transferring facilities	TRANSFER CRANE AGV DRIVER CONTAINER FRONTAGE CONVEYER	Entire transferring facility Crane Vehicle Tractor Container Frontage Conveyer
Others	MOTOR OPERATOR CONTROL TOWER ST	Conveyer controller Operator Controller Station

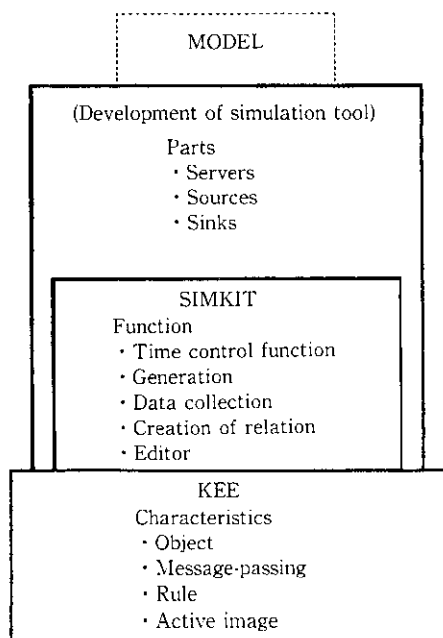


Fig. 2 System structure

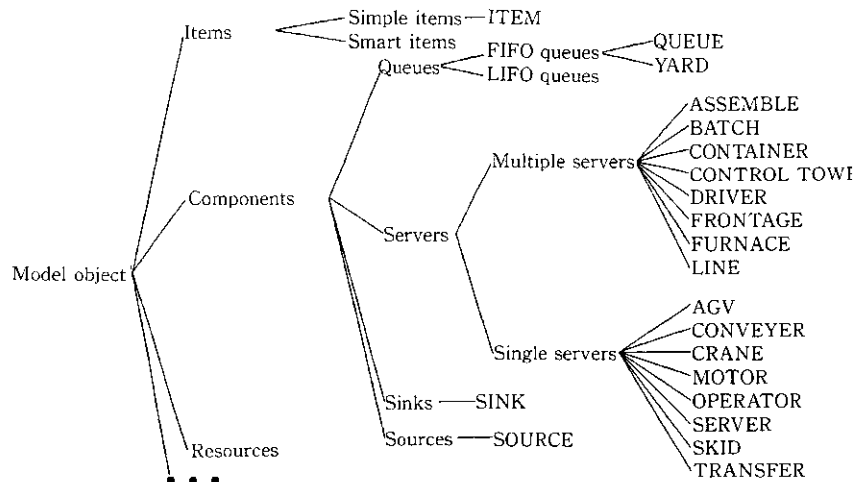


Fig. 3 A portion of the objects structure

また、Fig. 3 に部品群（オブジェクト）の階層構造を示す。左にあるオブジェクトほど抽象的な概念を表現した部品であり、右にいくほど具体的な対象を表現している部品である。これらの部品使用例を Fig. 4 に示す。図の左側にある細長いウィンドウが使用可能部品を表示しており、中央の最も大きいウィンドウがモデル作成ウィンドウである。モデルの作成は左側ウィンドウの部品を、マウスを操作することによりモデル作成ウィンドウにコピーすることで構築できる。また、物の流れは、マウスの操作で矢印をウィンドウ上

で設定することで表現する。Fig. 4 の例は、場内の複数の棟間台車の運行状況をシミュレートするために作成したモデルであり、台車は AGV、線路は矢印で表示してある。その他の台車にかかわる設備を含めて、これらはすべて用意した部品を画面上でコピーして作成することができる。

4.2.2 部品化の方法

オブジェクト指向では、オブジェクト、メソッド、インヘリタンスといった概念を用いる。オブジェクトとは、データと手続きをひ

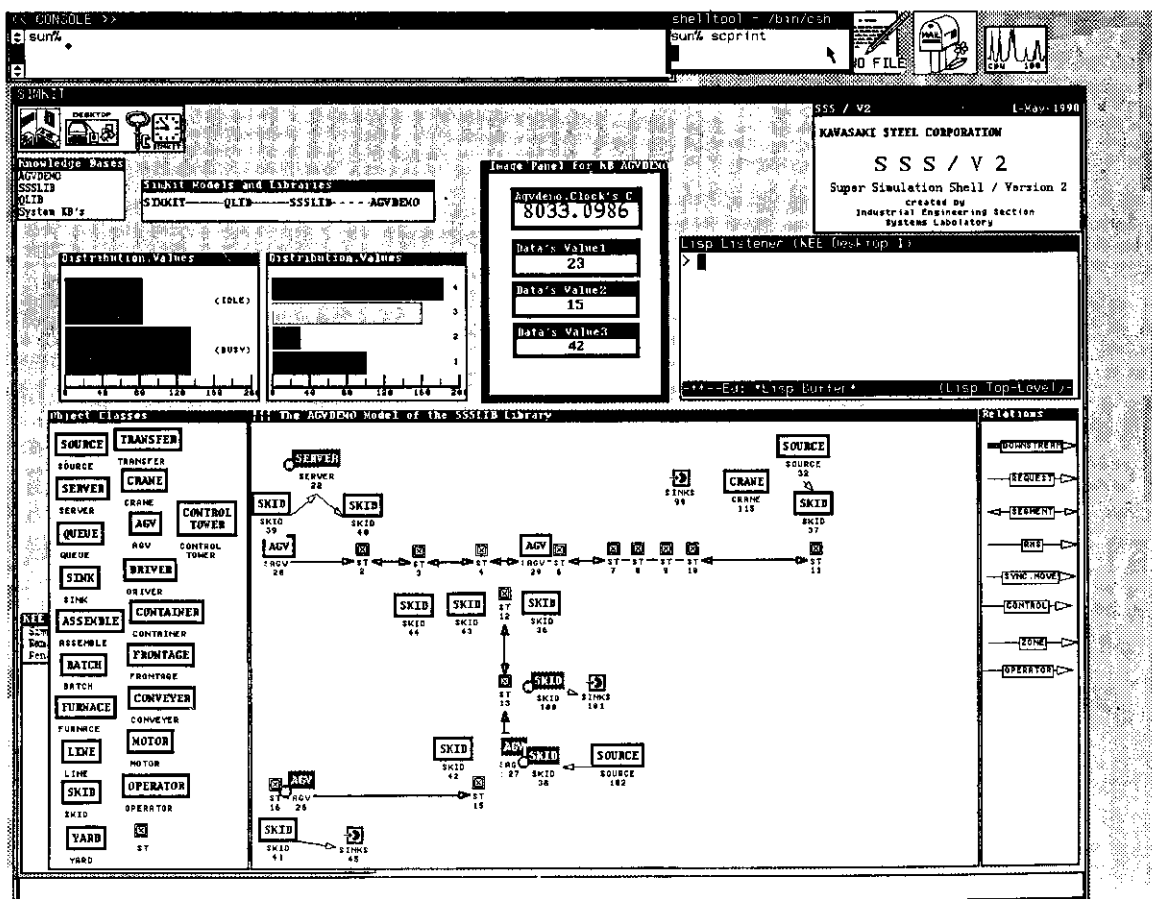


Fig. 4 An example of the vehicle simulation model using AGV, SKID, and ST

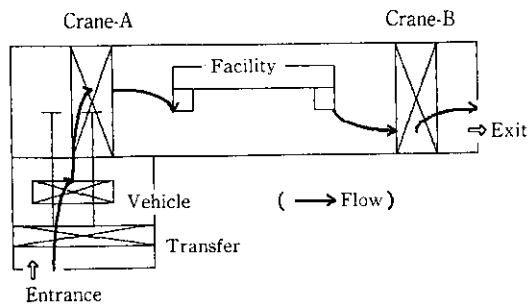


Fig. 5 An example of the transferring facilities model using transfer, vehicle, and crane

とまとめたものであり、プログラムの基本単位を示す。メソッドとは、オブジェクトに記述されている手続きであり、メッセージを受けて起動する。また、オブジェクトを階層構造で管理することにより、上位の機能を下位に継承するというインヘリタンス機能がある。これらは、部品構成を設定する際に明確に定義する必要があるが、どのように設計すべきかの指針が存在しない⁸⁾。

今回は、一つのオブジェクトを一つの部品（設備）と対応させることを基本としたが、以下に今回の開発時に採用した考え方を紹介する。

(1) 抽象化・具体化レベルの設定

一般に、どのような部品構成とするかはシミュレーションの目的と深くかかわっている。例えば、Fig. 5 で示した例で、処理設備の前後の仕掛のみが問題となっていたときには、移載機や棟間台車、クレーンなどの区別は必要ない。これらは物を運ぶ設備を表す部品として、例えば TRANSFER という抽象的な部品をつくらばよい。ところが、搬送設備の稼働率が問題となるような時には、クレーンや台車の動きを詳細に表現する必要があり、これらを個々の部品として記述することが必要となってくる。このように、問題により同じ設備が詳細に扱われたり、マクロに扱われたりすることがわかる。したがって、問題の持つ構造により、大きく分けて部品を最低2種類用意する必要がある。今回は、この抽象化・具体化のレベルを、2階層のみとした。抽象的な表現で使用する抽象化部品群と、詳細な表現をする詳細化部品群である。

(2) 部品間のつながりの設定方法

(1)で設定した部品を、組み立てて使用するためには、そのつながりの方法を明確にしておく必要がある。オブジェクト指向ではオブジェクト間の関係を、階層構造によるインヘリタンスと、メッセージパッシングにより行っている。したがって部品間の情報のやりとりは、すべてメッセージを送ることによりメ

ソッドを起動し処理することとした。メッセージは、受信先のメソッドのみを定義すればよい。これにより、部品の独立性が保たれ、他の部品の内部構造を意識する必要をなくす効果がある。また、部品の追加や機能拡張などの改良も容易である。

4.3 モデル内でのルール利用

モデル中の意志決定が必要な局面では、ルールによる判断が必要になることがある。例えば、モデル中の分岐点で、とるべき経路をさまざまな制約条件をチェックしながら決定したいという場合である。具体的には、自動搬送台車が物を置き場に置きにくく際に、どの経路を通れば他の台車と干渉することなくたどりつけるかといった問題がある。

このため、モデル内でルールを利用できる機能を用意している。ルールの記述方法は、Fig. 6 に例示したように IF~THEN~形式で記述が可能である。しかも自然言語に近い表現で書くことができる。これにより、高度な判断を要する運転方案の検討などが容易にモデル化できるようになった。

この機能は、前述したエキスパート構築支援ツールである KEE の機能を利用しており、さらに高度な推論機能を実行することも可能である。

5 システムの評価と今後の展望

5.1 評価

この汎用物流シミュレータは、1989年10月開発を開始し1990年5月に完成した。現在は千葉および水島製鉄所の企画部内において試用されている。当ツールを開発することにより、これまでのシミュレーションに関する技術を、まとまったドキュメントとして残すことができた。また、ツールの開発過程そのものが、技術の標準化であったと認識している。

現在までに、千葉では4テーマ、水島では3テーマの適用を行ってきた。これらの適用結果から、当初狙っていた項目について以下のように評価した。

5.1.1 習得の容易性および開発の迅速性

導入した SIMKIT および KEE の対話機能を拡張し、ディスプレイに向かって対話形式で、モデル作成、実行、修正および評価の各作業をすることが可能となった。また、問題を表現するモデルの作成では、ほとんどの場合部品の組合せのみで1~2日で作成することが可能となった。これにより、シミュレーション言語によるプログラミングはほぼ必要なくなり、習得が容易になった。また、モデルの実行および解析を含めても数日でシミュレーションの解を

```

① (IDLE.LINE.RULE
  (IF (A DOWNSTREAM OF ?COMPONENT IS ?DOWN)
    (CANT.FIND (THE CONTENTS OF ?DOWN IS ?X))
    THEN (CHANGE.TO (THE PREFERRED.DOWNSTREAM OF ?COMPONENT IS ?DOWN))))

② (SHORTER.LINE.RULE
  (IF (A DOWNSTREAM OF ?COMPONENT IS ?D1)
    (A DOWNSTREAM OF ?COMPONENT IS ?D2)
    (LISP (NOT (EQ ?D1 ?D2)))
    (LISP (<= (LENGTH (GET.VALUES ?D1 'CONTENTS))
              (LENGTH (GET.VALUES ?D2 'CONTENTS))))
    THEN (CHANGE.TO (THE PREFERRED.DOWNSTREAM OF ?COMPONENT IS ?D1))))
  
```

Fig. 6 Examples of rules (①: a rule taking priority of putting items into empty lines and ②: a rule to put items into shortest waiting line)

出すことができ、当初の目標を実現した。これにより、シミュレーション業務の大幅な生産性向上を達成するとともに、タイムリーな検討が図れるようになった。

5.1.2 判断ロジック作成の容易性

判断ロジックを容易に作成できるように、プロダクションルールの利用を可能とした。これにより、ロジック作成が容易になったばかりでなく、自然言語に近い形式で記述でき、読解性が高くなった。ただし、ルールをより高度に利用する推論機能については対応しておらず、KEE によるプログラミングが必要である。

5.1.3 視覚化機能の充実

アニメーション機能を実現した。この機能についても、モデル作成と同様コーディングを必要としないが、まだ不十分な点がある。最近の市販のツールはアニメーション機能が充実しており、それらと比べて当システムの表現力、動作など見劣りする点がある。これらの機能を一層充実させるべきである。

5.2 今後の展望

今回開発した汎用シミュレーションツールの今後の展望として、以下の2点がある。

第一に、当ツールの一般技術者へのオープンユース化である。当ツールは、その必要とする知識、開発負荷、使いやすさなどから見れば一般の技術者も利用が可能なレベルにある。ただし、オープンユース化するためには、以下に示すレベルアップが必要である。

- (1) 部品の機能修正および追加
- (2) アニメーション機能の充実
- (3) オープンユース化を意識したインターフェースの充実

これらのレベルアップは、実テーマに取り組んでいきながら、その詳細な内容について検討していく。

第二は、モデル開発機能の一層の向上である。今回のツールのポイントには、部品化再利用とルールベース作成機能およびユーザイン

ターフェース機能であるが、いずれの機能も完全であるとはいえない。特にルールベース作成機能では、推論機能を活用するまでには至っていない。部品の機能修正および追加やインターフェースの充実とともに、この推論機能の有効利用を今後の課題と考えている。

6 結 言

シミュレーション業務の開発生産性を飛躍的に向上させる手段として開発した汎用物流シミュレータについて紹介した。おもな特徴は以下のとおりである。

- (1) 鉄鋼の物流に焦点を絞り、その対象を部品としてあらかじめ用意した。モデル作成は、その部品を組み立てることのみでモデルの構築ができる。また、ルールによる表現を可能とした。これにより、難解なシミュレーション言語の習得も不要とした。
- (2) 対話型モデリング環境を整備し、部品の組み立てをディスプレイ上で行えるようにした。また、メニュー形式による属性の定義や変数の設定・変更等を可能とした。
- (3) 処理・判断のプロダクションルールによる記述を可能とし詳細なモデル表現を可能とした。
- (4) アニメーション機能を充実し、シミュレーション過程や結果をディスプレイ上に表示することにより、モデルのデバッグや問題点の発見を容易にした。これにより、代替案の比較・検討が効率的に行えるようになった。

以上より、当初の狙いである開発生産性の向上を達成することができた。

しかし、汎用ツールとしての完成度という点からは、まだ改善すべき部分が残されている。今後のレベルアップは、日常の業務の中で積極的に活用しながら、そのニーズにこたえていくという方法で行っていくつもりである。

参 考 文 献

- 1) 田中清三, 有木 徹, 井形元彦, 山崎 進, 高橋いずみ, 関尾為行: 川崎製鉄技報, 20 (1988) 2, 50-55
- 2) 市原 勲, 白石 健, 竹本茂男, 高取誠二, 有木 徹, 井形元彦: 川崎製鉄技報, 20 (1988) 2, 56-62
- 3) 山本喜一, 浦 昭二: 情報処理, 22 (1981) 11, 1012-1023
- 4) 森戸 晋, 相沢りえ子: 「SLAM II によるシステムシミュレーション」, (1987), 210, [構造計画研究所]
- 5) 室 善一郎: オペレーションズ・リサーチ, 35 (1990) 2, 96-101
- 6) 石塚圭樹: 「オブジェクト指向プログラミング」, (1988), 362, [アスキー出版]
- 7) 上谷晃弘: 「統合化プログラミング環境」, (1987), 354, [丸善]
- 8) 春木良且: 「オブジェクト指向への招待」, (1989), 191, [啓学出版]