

解説



## シミュレーション技術の最近の動向

## 2.5 統合型シミュレーション フレームワーク ARENA<sup>†</sup>

日比野 陽 一<sup>††</sup>

### 1. はじめに

過去 10 数年間にわたり、離散系シミュレーション技術に関連するソフトウェアの開発は目覚ましい進歩を遂げてきた。現在市販されているほとんどのシミュレーションツールでは、リアルタイムアニメーションとモデル定義のための対話式グラフィカルインタフェースを持ち、その手法も洗練され、またネットワークやデータベースとのインタフェースも可能になってきている<sup>1)</sup>。このシミュレーションツール自身の進歩は、生産・物流をはじめとする様々な産業界においてシミュレーション技術の認識と使用頻度を着実に増大させ、企業における管理者は自身が対象としているシステムに対するシミュレーションの適用に関して強い関心を持つようになってきている。しかしながら、いまだにシミュレーションの有用性を享受することなく設計や改良がなされている複雑なシステムが多々存在し、また企業内において全般的にこの技術が使用されている例はきわめて少数であり、単発的なプロジェクトあるいは部門においてのみ使用されるのが一般的である。理論的にはシミュレーション技術の対象は非常に広範囲に及びその効果も高いので、CAD やデータベースシステム並に普及してもなんら不思議はない。

本稿では、このようなシミュレーション技術の広範囲な適用を可能にする「ARENA (アリーナ)」および AST についてそのベースとなる技術および適用可能性について述べる。

### 2. パッケージ系と言語系

一般的にシミュレーションソフトウェアには大別してパッケージ系と言語系があり、パッケージ系は容易に学習できるがその適用範囲がきわめて限定され、言語系は柔軟性があり表現力に富むが複雑で習熟が難しいとされている。近年、パッケージはより柔軟性を持ち、言語系はより使いやすくなってきているが、双方のプロダクトのカテゴリの間には、依然として重大な欠落部分がある。もし、ユーザがあるパッケージ（ユーザの適用領域に関連するパッケージが存在すると仮定）を選択すると、これらパッケージの表現的な制限により、シミュレーションの対象を忠実に再現できず結果として誤った結論が導き出される可能性を禁じえない。また反対に言語系を選択した場合、その言語の機能を完全に習得するためには比較的多くの時間と労力を必要とするため、タイムリに結論を導き出せない可能性がある<sup>2)</sup>。

また、パッケージ系のツールはシミュレーション技術をベースとして固有のモデル構築技術や操作法、解析方法を持ち、それが必ずしも実地のデータや評価基準（目的関数）と一致せず、客観的、一意的な評価を下しにくいのが現実である。（たとえば、稼働率や待ち行列ではなく、コスト試算等）<sup>3)</sup>。

シミュレーションの実行時間については当然のごとくパッケージ系は遅く言語系は速い。特に大規模モデルではその差が顕著である。パッケージ系ツールによって短期間でモデル構築ができたとしてもシミュレーションでは通常複数回の実験を実施するので、トータルのシミュレーションプロジェクト期間としては、メリットがなくなってしまう場合が多い。また、表現できるシミュレーション対象の規模は、パッケージ系は小規模を対象

<sup>†</sup> Integrated Simulation Framework ARENA by Yoichi HIBINO (System Integration Center, Engineering & Production Department Electronics Division, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.).

<sup>††</sup> 三菱重工(株)エレクトロニクス事業部開発・製造部 SI センター

とする。

もし、ツールがシミュレーション対象を的確に表現でき、その使用法もきわめて容易であり、特別な構築技術や解析技術が不要で、最適で客観的で直接的な評価基準をすぐに導き出すのであれば、すべての企業がこのツールを使用するはずである<sup>4)</sup>。現実にはこのような汎用的ツールは存在しないが、次章以降で解説する ARENA および AST はこれを実現できるものであり、実際に推進している企業もある。

### 3. ARENA モデリングフレームワーク

1981年 Dr. D. C. Pegden らにより ARENA のベースであるシミュレーション言語「SIMAN (サイマン)」が開発され、1982年米国システムズモデリング社開設と同時に市販された。1986年 SIMAN にアニメーション化機能を付加した「Cinema (シネマ)」が開発/商品化され、1993年に ARENA がリリースされ現在に至っている。

ARENA は、「汎用のシミュレーション言語

SIMAN/Cinema の持つモデリングに関する強力な表現力および柔軟性」と「適用業務に的を絞ったパッケージの使いやすさ」を結合させることによりシミュレーション技術において大きな進歩を成し遂げた。ARENA は、非常に簡単に習得でき、使用できる上に、広範囲における問題領域にわたって、高いレベルでの柔軟性を持ったモデリング環境を提供する。また、SIMAN がベースであるためにその実行速度はパッケージ系はもとより他の言語系のツールと比較しても高速であり、さらに DOS・OS/2・UNIX の各プラットフォームに対応し互換性を保持するため、モデルの規模に応じたハードウェアの選択が可能である。

ARENA でのモデリングは、使用するテンプレート中のモジュールを画面上に配置し、必要なデータを入力するだけで、モデルの作成およびアニメーションの作成を行うことができる。また、ARENA の環境には、モデル作成・シミュレーション実行・アニメーションの他にもシミュレーション実験におけるすべての基礎的な段階をサポートする完全なシミュレーション環境を提供す

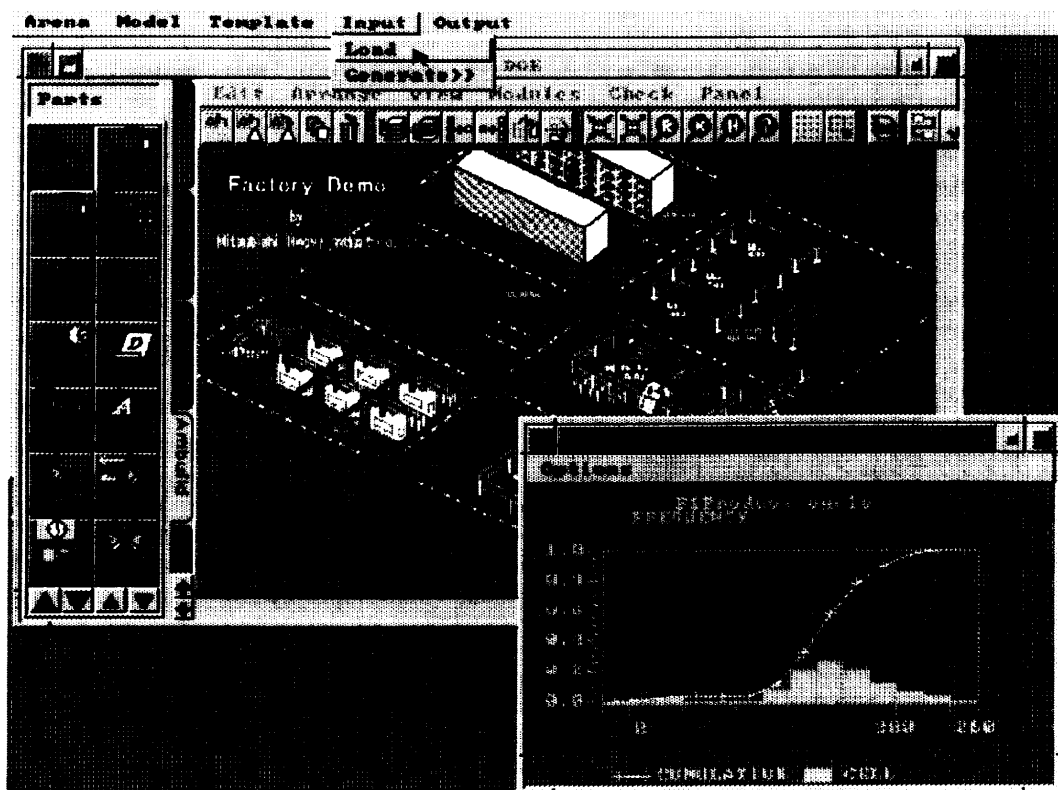


図-1 ARENA 画面

表-1 テンプレート種別

|       |                               | テンプレート   |   |   |
|-------|-------------------------------|--|---|---|
|       |                               | 標準テンプレート   | AST<br>(Application Solution Template)  | カスタマイズテンプレート<br>(ARENA PE による)  |
| 開発者   |                               | 開発元 (ARENA に標準装備)  | テンプレートビルダ(AST のペンダ)   | ユーザが自由に構築   |
| 特徴    |                               | 汎用的で柔軟性を持つモジュール構成<br>特定分野に限定されない<br>簡単なモデルから詳細なモデルまで自由にモデル化可能<br>ある程度習得には時間が必要 | 適用分野に特化したモジュール構成<br>適用分野特有の機能性、用語、評価基準を実現<br>ある程度の汎用性と柔軟性を有す<br>適用分野に対する知識を有するユーザであれば容易に習得が可能 | ユーザの業務、分野、目的に特化したモジュール構成<br>対象ユーザ専用であり、汎用性はあまり考慮されない場合が多い<br>習得が非常に容易 |
| 対象範囲  |                               | 離散的シミュレーション技法が適用できる分野全般  | 製造業、半導体製造業、BPR 等それぞれの適用分野に限定  | 対象ユーザの業務、分野、目的に限定   |
| モデリング | モジュール数                        | 比較的多   | 比較的少  | 少   |
|       | モデル化期間<br>(言語による作成期間を 10 とする) | 5  | 2~3   | 0.5~1   |

る。つまり、インプットデータ解析、モデル構築、対話式実行、アニメーション、トレース照合、出力解析といった一連のシミュレーションサポート機能を統合化している (図-1)。

ARENA は、シミュレーション技術の適用方法やレベル等により大別して 3 種のテンプレートがあり、製品の構成がなされている (表-1)。この中でカスタマイズテンプレートは、ARENA のカスタマイズ機能によって作成するが、その方法は至って簡単であり、ARENA SE、AST で作成したモデリング要素をプログラミングすることなく、簡単な手続きによってのみ登録することである。また、モジュールの階層化も可能で、次章で解説するアプリケーションテンプレートの基本概念にのっとり、最も ARENA の特長・コンセプトを表す機能である。

#### 4. アプリケーションテンプレート概念

シミュレーションスタディにおける ARENA の基本概念は、特化した適用分野に対するテーラビリティ (tailorability) である。これは、あらかじめツールによって定義されたモデリングの構成要素に限定されず、アプリケーションテンプレートという手段により容易にカスタマイズすることができるという概念である<sup>3)</sup>。たとえば、病院のモデリングをしているユーザは、病院 (医師、看護婦、ベッド、レントゲン室等) に特化したモ

デリング構成要素を持つ病院テンプレートを選択することができる。同様に、トラック運行をモデル化するユーザは、トラック運行 (道路、インタチェンジ、立体交差点、停止信号等) に特化したトラック運行テンプレートを選択できる。また、ある工場ではそこに存在するすべての加工機と搬送機、作業員、部品、製品に特化したテンプレートをカスタマイズできる。

従来のシミュレーションシステムのように、ペンダからソフトウェアで提供されるモデリングの構成要素「ハードコード (hard-coded)」(変更不可) でなく、ARENA は、エンドユーザがテンプレートの手法によって、モデリングの構成要素を「ソフトコード (soft-coded)」(変更可) 化することができる。

アプリケーションテンプレートの基本概念は、ARENA により提供される使いやすさ (ease-of-use) と柔軟性 (flexibility) を同時に実現することである。このメカニズムは、エンドユーザが自身が抱えている現実のシステムにマッチしたツール、すなわち、そのユーザのシステムに的を絞った概念や専門用語を使用したツールを使用することを可能とした。これによって、ユーザに要求されるモデリングの抽象化、概念化のレベルが大幅に削減される (図-2)。

さらに、ユーザは唯一の専用モデリング構成要素に限定されることはない。ユーザは複数の

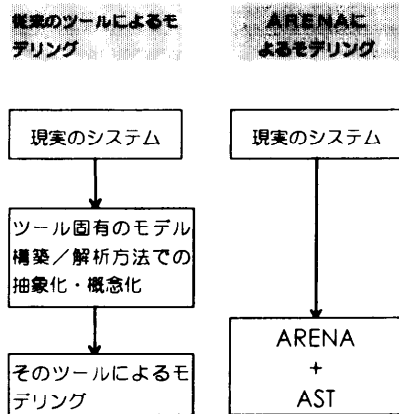


図-2 モデリング概念

AST から専用のモデリング構成要素を結合させたり、あるいは必要な構成要素のみを集め、再構築（階層化）して使用することができる。従来のハードコードや専用パッケージにあった表現的な制限によりシミュレーションの対象を忠実に再現できないという表記上の大きな壁を打ち破ることができる。あるテンプレートを単純に付加することにより、ユーザはきわめて簡単にシミュレーション技術を自分の対象としている専門分野に適用することが可能になる。

## 5. ARENA におけるオブジェクト指向の概念

ARENA は、オブジェクト指向のコンセプトに動機づけられているが、その階層化に対するアプローチは他のオブジェクト指向型ソフトウェアとは異なる。ARENA では、モジュールは階層的に定義されているが、そのプリミティブは SIMAN オブジェクトであり、それ自体は ARENA の中でモジュールを構築される際に使用されるだけであってオブジェクト指向言語で生成されるようには生成されない。つまり、拡張性のあるオブジェクト指向コンセプトは、SIMAN オブジェクトでなく、それによって階層的に構築される新規のモジュールに対して適合する。もちろん、モジュールのオペランドは、最終的にそれが構成されているすべての階層化されたモジュールおよび SIMAN オブジェクトのプロパティを設定するので階層化の有効性を享受できる。ARENA のアプローチにおける最も有効な点は、新規のモジュールはグラフィカルな手続きのみで

定義でき、適用業務ライブラリを構築するためにプログラミングが不要であるということである。つまり、適用業務ライブラリ構築は、モデリングの仕事でありプログラムの仕事ではない。これが一般的なオブジェクト指向プログラミングとの違いである。一般的なオブジェクト指向シミュレーション言語は、オブジェクトを拡張させることができるが、新しいモデリングプリミティブを追加するために C++ や Smalltalk 等のオブジェクト指向言語によるプログラムが必要である<sup>2)</sup>。

この意味において、ARENA はオブジェクト指向プログラミングというよりもむしろモジュール指向モデリングといった表現が適切である。

## 6. AST

既述のとおりテンプレートは ARENA における基本概念であり、この各種の適用業務への拡充がシミュレーション技術の適用拡大に繋がる。また米国では、C 言語や C++ 等によるアプリケーションの開発やデータベースシステムのプリ/ポストプロセッサのように、ARENA によりテンプレートアプリケーションを開発し、市販するベンダもある。これらの適用業務に特化したテンプレートは市販テンプレートも含め、「AST (Application Solution Template)」と呼ばれる。表-2 に現在の市販（または市販予定）AST を記す。

これらは、現在分かる範囲のものであり、この他にも多くの分野において AST 開発の計画がある。また、ユーザが独自に AST を開発し、使用するケースは当然市販 AST の数より格段に多い。これは、市販 AST はその仕様を特化した分野といいながらもある程度汎用化する必要があり、そのリサーチや基本設計に多くの時間がかかるためである。ユーザが独自に AST を開発する場合、2通りの方法がある。1つは、市販 AST と同様に最初にその仕様をきめ、モジュールをいっせいに開発する方法で、この場合やはり仕様の設計には相当な時間がかかり、その仕様も膨らみがちで、実際に適用してからの変更も多い。もう1つは、最初に ARENA SE でシミュレーション対象のプロトタイプモデルを作成し、その中で流用できそうなモデルの部分をパーツとしてモジュール化し、それを AST にアドオンし、徐々に

表-2 市販AST

| 既リリース   | 開発中  | 計画中  |
|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• SIMAN Template (Blocks/Elements)</li> <li>• ARENA Template (Common/Support/Transfer)</li> <li>• Advanced Manufacturing Template (AMT)</li> <li>• Business Process Reengineering (BPSimulator)</li> <li>• Wafer Fabrication Template (WFT)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• ARENA Template (Version 2)</li> <li>• Wafer Fabrication Template (Version 2)</li> <li>• Health Care Template</li> <li>• Real-time Template</li> <li>• High Speed Packaging Template (HSPL)</li> <li>• Wafer Assembly/Package/Test (Back-end)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Advanced Material Handling Template</li> <li>• Continuous/Process Industry Template</li> <li>• Apparel Template</li> <li>• Transportation Template (Trucking, Rail, Air, Ships)</li> <li>• Banking Template</li> <li>• Computer Networking Template</li> <li>• Retail Template</li> <li>• IDEF Template</li> <li>• Mining Template</li> <li>• Fast food Template</li> </ul> |

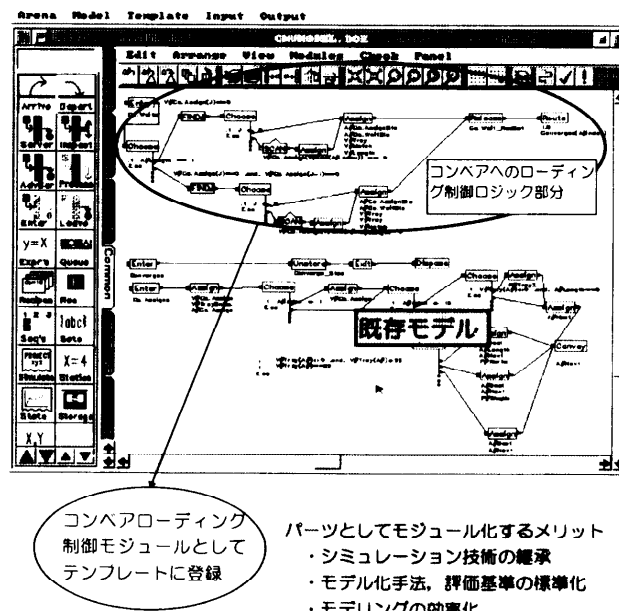


図-3 モデル切り出しによるモジュール化手法

拡張していく方法である(図-3)。ARENA SEはそれ自体伝統的なシミュレーション技術にのっとり、さらにSIMANによる拡張性も保持しつつ、容易にモデル構築ができるように設計されているため、単独でもシミュレーション技術さえ持っていれば比較的簡単に洗練されたシミュレーションを実施することができる。実際、ARENAユーザの半数はARENA SE (ARENAのAST構築機能がないバージョン)のみを使用しシミュレーションプロジェクトを実施している。よって、モデルの再利用およびシミュレーション技術の継承という見地から見ればパーツ化は当然

のことであり、それが簡単な手続きのみでモジュール化できるので非常に有効である。

これらのASTを使用することによって、ユーザが受けるメリットは次のとおりである。

- 評価基準(目的関数)やシステム状態を組織内で一般的に採用されているものと同じ尺度で出力でき、一元化できる。

- パラメータ入力項目の用語が対象と同じなのでエントリしやすい(図-4)。

- シミュレーション対象の知識さえあれば、たとえシミュレーション技術を熟知していなくても、非常に簡単にかつ高速にモデルが作れる。

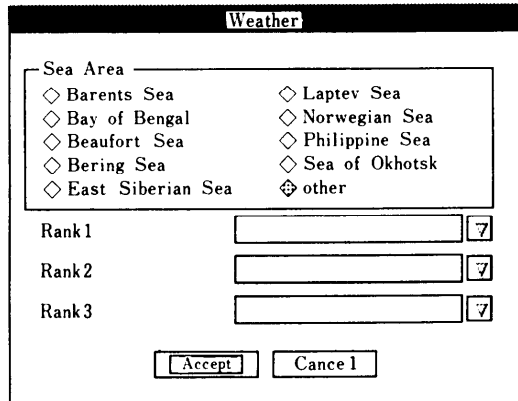


図-4 AST ダイアログボックスサンプル  
(天候データ入力)

●任意に階層化によるモジュールの拡張が行える。

## 7. SIMAN V

一般の ARENA ユーザは、ARENA に標準装備されている ARENA テンプレートまたは、AST を使用するため、この ARENA のプリミティブである SIMAN に直接触れる機会は少ないが、ハイレベルのシミュレーション技術者および研究者、テンプレートビルダ (AST の開発者) にとって、SIMAN の表現力は興味を持つところであり、また ARENA の柔軟性、拡張性を司るところでもある。

SIMAN は、1981 年 Dr. D. C. Pegden らによって開発され、以来恒常的な改良/追加がなされ現在に至っている。1990 年リリースされた SIMAN IV から 1993 年 SIMAN V に至っており、この間にイベントカレンダロジックの改良による処理の高速化や 32 ビットプロセッサ、拡張メモリ域への対応、多数の新規オブジェクトの追加等が行われた。

SIMAN IV の時代からシミュレーションモデル作成のために準備されたオブジェクトの多様性、特にマテハン (工場内物流) 機能の充実度には定評があった<sup>6)</sup> が SIMAN V ではさらに表現力を重視した機能追加がなされている<sup>5)</sup>。以下にその代表的な例を示す。

(1) SEQUENCE, RECIPES: ジョブショップ的なアプローチを行う際に製品種ごと、工程ごとに異なる処理ルールをモデル化するためのオ

ブジェクト。

(2) IF-THEN-ELSE, WHILE: モデルの中で論理的な記述を行うために準備されたオブジェクト。これにより特別なディスパッチングルールや制御システムが C や FORTRAN による外部ルーチンを用いることなくモデル化が可能となった。

(3) RESOURCE: SIMAN には機器や作業員といったシステム上の資源を表現するリソースという概念があるが、このリソースの細かい設定を可能にする機能が準備されている。

SETS: 異なる特性を持ったリソースを集合化し、一元的に扱うことを可能とするオブジェクト。

FAILURES: リソースに関する故障のデータを定義するオブジェクト。

あるリソースに対して定義できる故障状態の数に限定はなく、定期的にかかる停止や、突発的な故障等、複数の原因による複数の停止をモデル化可能。

STATE SET: リソースに対し、それ特有のステータスを対応させる機能。

一般のツールでは機械等のステータスとしてアイドル、ビジー、休憩中、故障中程度の区別しか持っていないものがほとんどである。これでは、同じビジー状態でありながら段取り中なのか処理中なのかといった細かい設定ができず、したがってそこから得られる解析データも粗いものになってしまう。SIMAN ではリソース特有の状態を定義しさらにそこから詳細な解析データを取得できるようになっている。

(4) 他システムとの入出力: 標準入出力、ファイルとの入出力機能を有するのは当然であるが、モジュールパラメータの表計算ソフトウェアとのインタフェースも装備。さらに、ショップフロアコントロール (工程進捗管理) システムとのダイレクトなインタフェースを可能にする入出力機能も有す。

## 8. 今後の拡張

### 8.1 スケジューリングへの適用

シミュレーションツールを使用しているユーザの中には、ジョブショップ (機械種ごと配置) ・フローショップ (工程順ごと配置) スケジューリ

ングを目的としている場合があり、簡単な工程シミュレータをスケジューラと呼ぶユーザさえもいる。これは従来のスケジューリング手法（たとえば整数計画法や線型計画法、分岐限界法、待ち行列理論等）やスケジューリングツール（ツールごとに様々な技法を採用）では現実的なディスパッチングルール（動的な設備状態を事前に加味する等）や制御ロジックを付加できないためにシミュレーション技術で最適（に近い）解を導き出し、さらに実際のプロダクトミックス（投入計画）からガントチャート（線表）を出力し、運用するといったものである。現在、非常に多くのスケジューリングツールが存在しているが、研究レベルでなく実地に使用されている汎用ツールは少なく、大企業では市販ツールをカスタマイズしてあるいは内製化されているケースが多い。

ARENA の開発元である米国システムズモデリング社では、英国で実績のある有限資源スケジューリングツール「Preactor」（プリアクタ）を市販すると同時に ARENA をベースとしたシミュレーション技術とのリンクに取り組んでいる。これにより、より技術的な検討やヒューリスティックな要素の採用等を含めた多角的な専用スケジューリングツールを容易に自作できる。

## 8.2 AST

前述のとおり、米国ではいくつかのサードベンダにより AST が開発されており、また日本でも自社開発した AST の販売を計画している企業もある。このサードベンダ化の傾向は拡張しており、特に業界特化型のサードベンダまたはコンサルティング企業等は強く興味を持っている。

これらの AST はほとんどが製造業分野を対象としたものであるが、米国では非製造業分野での適用も幅広く検討されており、特に BPR（Business Process Reengineering）や IDEF とコンピュータネットワーク、サービス産業に関する AST 開発プランが多く、今後の注目分野であると思われる。

## 8.3 リアルタイムシミュレーション

現実のショップフロアをトラッキングしながらトラブル時に即座にその対応をシミュレーションによって解決する。特急品（ホットロット）発生によりダイナミックにリスケジューリングする。シーケンサやマイコンの事前検査を行う。このよ

うな用途に対してシミュレーションツールを適用するには、C 言語等で外部デバイスとのインタフェースプログラムを開発する必要があり、かなりのパワーユーザでない限り実現不可能であった。

現在、システムズモデリング社とテキサス A&M 大学、ペンシルベニア州立大学で通称「RapidCIM」と呼ばれるプロジェクトにおいて、このようなリアルタイムでのシミュレーション適用を ARENA ベースで研究開発されている。

シミュレーション技術は、システム等の基本計画や設計、改良といった事前検証業務に適用されるのが一般的であったが、これにより事前検証によって構築された技術をそのまま運用段階までダウンロードすることができ、また運用単独でも十分な効果があり、適用分野が拡大する。

## 8.4 WINDOWS への対応

ARENA は、多くのソフトウェアツール（シミュレーションツールでは少数であるが）と同様に、Windows (NT, 95 等を含む) プラットフォームを完全にサポートする。これにより以下のようなメリットが享受できる。

(1) データベースや表計算、DTP 等様々なツール間のインタフェースが容易になり、多角的な検討が実施できる。

(2) ツールの使い勝手が統一されているため、Windows ユーザは、操作方法を習得する必要がない。

(3) ハードウェアの制限も少なくなるため、場合によってブック型コンピュータを利用したり、実行時間短縮や多数のスタディを実施するためにワークステーションに切り換えるといった使い分けが、任意にかつ容易に行える。（現在の ARENA でも DOS/Windows 版、OS/2 版、UNIX 版があり各々互換性を保持し、操作方法も統一されているが、OS 自体の問題（ファイルハンドリング等）がある。）

(4) ネットワークにも容易に対応できるため、シミュレーションの資源をどこでもだれでもすぐに使える。

## 9. 総 括

ARENA は、テンプレートの概念を採用した近未来的なシミュレーションツールである。

ARENA は、既存のシミュレーション技術者

にはより洗練されたシミュレーション環境を、特定分野のユーザにはASTを、それ以外の多くのシミュレーション技術の恩恵を受けていないユーザに対しても、AST構築機能により、この技術を適用する機会を与えた。このキーポイントは、ユーザが特定の問題領域向けにカスタマイズすることのできる新しいモジュール（モデリングの構成要素）を定義できることである。これら特定領域に絞ったモジュールをテンプレートと呼ばれるライブラリにストアし、ASTとして新しいシミュレータを構築できる。

ARENAは、シミュレーション技術を非常に幅広い範囲、階層にわたって適用することを可能にした。

#### 参 考 文 献

- 1) Gogg, T. J. and Matt, J. R.: Introduction to Simulation, Winter Simulation Conference (1993).
- 2) Joines, J. A., Powell, K. A. Jr. and Roberts, S. D.: Object Oriented Modeling and Simulation with C++, Winter Simulation Conference (1992).
- 3) Pegden, C. D. and Sadowski, D.: Arena: A

SIMAN/ Cinema-Based Hierarchical Modeling System, Winter Simulation Conference (1992).

- 4) Pegden, C. D. and Matwijec, T.: Enterprise-Wise Simulation - The Next Generation, SIM 94 (1994).
- 5) Pegden, C. D., Sadowski, D. and Shannon, R. E.: Introduction to Simulation Using SIMAN Second Edition, McGraw Hill (1995).
- 6) 高桑旨宗右エ門: 生産システムシミュレーション, コロナ社 (1993).
- 7) 高桑旨宗右エ門: CIM 生産システムのシミュレーション最適化, コロナ社 (1994).

(平成7年3月2日受付)



日比野 陽一

1963年生。1985年東北大学理学部数学科卒業。同年三菱重工業(株)入社。原動機技術センター原動機開発部、技術本部システムインテグレーション部を経て現在のエレクトロニクス事業部に至る。主たる業務は生産・物流システムにおけるシミュレーション、スケジューリング、生産管理等コンピュータソフトウェアの適用および関連システムの開発、ソフトウェア販売に関する技術サポート。