

特集 長期連続運転における運転・操業管理

プラント運転訓練シミュレータ

—長期連続運転(4年定修)への対応—



浜崎 広道

Hiromichi Hamasaki
(株)オメガシミュレーション取締役
役事業本部営業部長。1974年東
京大学工学部係数工学科修士卒。
同年、横河電機(株)入社。'97年
(株)オメガシミュレーション設立
時出向。趣味：鮎釣り(夏)、陶

芸(冬)。連絡先：Tel 03-3208-4921 Fax 03-3208-4911
E-mail hamasaki@omegasim.co.jp

浜崎 広道

(株)オメガシミュレーション 営業部

(〒169-0051 東京都新宿区西早稲田2-20-9)

1. はじめに

航空機操縦訓練システムである「フライト・シミュレータ」の成功を例に挙げるまでもなく、運転訓練にシミュレータを活用し大きな成果を上げている事例は多い。近年のコンピュータ性能の向上、またプロセスシミュレーション技術の進歩によりエチレンプラント全系といった大規模なプラントのシミュレーションも可能となってきている。しかしながら、プラント運転訓練シミュレータ・システムは未だに「有れば良いのは分かるのだが…」と言われる段階であり、導入された顧客でも非常に高いレベルでのトップディシジョンで決定されているのが実状である。システムが高価であること(数千万円～1億円程度)、また投資効果の把握が困難なこと等、やむを得ない面もある。しかしながら、省人化による運転員年齢構成のアンバランス、それを加速する熟練運転員の定年退職、長期連続運転化によるスタートアップ操作を経験する機会の減少等々、プラント運転を取り巻く環境は益々厳しさを増している。「運転技術の継承」

をただお題目のように唱えているだけでは済まない時期に入ったと言えよう。具体的な取組みが急務である。

本稿では運転訓練シミュレータのごく一般的な話から、最新のシミュレーション技術をご紹介します。訓練シミュレータを含めた、運転支援に対する取組みに触れる。また、高精度、高機能の訓練シミュレータを廉価に構築する工夫についても考えてみたい。

2. プラント操業現場を取り巻く環境

プラント操業の現場では、制御装置のDCS化に続く計器室統合、自動化領域の拡大の結果、合理化(省力化：省人化)の名の下に運転員の削減が行われ続けている。日本の装置産業が世界に吾して競争力を維持するためには、人件費を削減することが一番手っ取り早く効果的である。しかしながら、コスト削減を目的とした施策が、安全、品質、環境等に悪い影響を与え、結果として思わぬコストを支払わなくなってしまうようでは元も

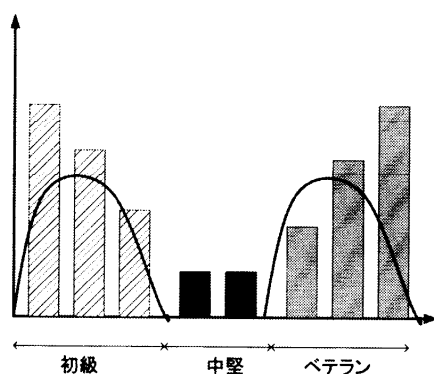


図-1 プラント運転員人員構成

子もなくなってしまう。昨今、企業の安全、環境に対する責任に対して社会の目が非常に厳しいのはご承知の通りである。

図-1は装置産業での運転員の人員構成を図式的に示している。

図の横軸は年齢（経験年数）、縦軸は人数である。Vの字型更にはふたこぶラクダ型の人員構成が業種を問わず一般的である。図は単に運転員としての経験年数のみで示しているが、計器室統合の結果新たに担当することになった設備運転の経験年数を横軸に取れば、左側の（経験年数が少ない）グループの割合は更に増えることになる。

このグラフは着実に毎年右にシフトし続けている。また、経験年数のみでなく経験の内容が薄くなっていることも大きな問題である。すなわち、現在のベテラン運転員の方々が蓄積された技術ノウハウを継承するにも、自動化が進んだ現場ではノウハウを伝授する機会が少ない。このような環境の中で運転訓練シミュレータは「仮想プラント」を提供して技術ノウハウの継承を促進する一つの有力な手段と考えられている。

3. 運転訓練シミュレータ

次に運転訓練シミュレータを簡単にご紹介する。

3.1 運転訓練の目的とその変遷

我が国に於いては1980年代になって石油精製事業所でプラント運転訓練にコンピュータシミュレ-

ーション技術が導入された。その後1980年代後半に、石油精製、石油化学の大規模事業所にプラント訓練シミュレータが多数導入された。（日本国内では米国、ABBシムコン社の運転訓練シミュレータ・システムが20セット以上導入されている。）この時期は従来型制御システム（パネル計器）からCRTオペレーションを主体とする分散型制御システム（DCS）への転換が一通り終わった頃と一致している。制御システムのDCS化に伴う下記の環境変化がプロセスシミュレータを用いる新しい運転訓練システムを必要としたと言える。

すなわち、DCS化に伴い：

- ・CRT主体の運転操作方法が導入された。
- ・運転操作の集中化が行われ少数での運転が可能となった。
- ・従来よりも自動化が進み、より高度な制御が行われるようになった。
- ・制御装置並びにプラント設備機器の信頼性が向上し、トラブルの機会が減少した。

1990年代以降も上記の事情は変わっていないが、CRTオペレーションに関する不安は少なくなり、むしろプロセス知識の習得に重点が移っている。すなわち、「どのように操作するか」から「何故、このように操作しなければならないか」を学習、訓練するためのツールとして使用目的が変わってきていると言える。

3.2 訓練シミュレータでできること

訓練シミュレータ・システムを導入する際に投資効果が問題にされる場合が多い。特に不景気と言われる昨今では投資効果の説明ができないために、欲しいとは思いつながら予算計上さえも控えているケースも見られる。くどいようだが図-1に示すグラフは確実に毎年右にシフトし続けている。現場の心ある方々の不安は時として、「どうせ私は後2年で定年だからその後のことは知らないけどな。」などと心にもない言葉を吐かせたりもしている。時間はそれほど残されていないはずである。

訓練シミュレータで実施できる訓練項目は：

- ①スタートアップ・シャットダウン操作

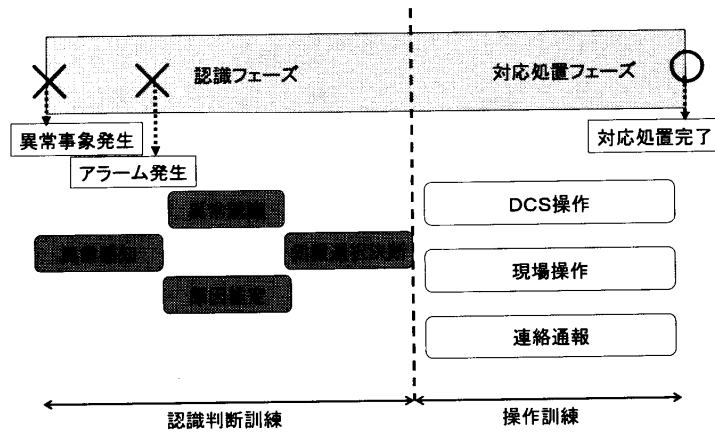


図-2 異常対応操作

②異常時対応操作

③定常時運転操作（負荷変化など）

が一般的であるが、中でも異常時対応訓練がシミュレータの特長を一番際立たせるものである。すなわち、シミュレータ・システムでは各種の異常状態（伝送器不良、プラント機器故障、天候急変など）を模擬的に発生させ、その対処方法を安全に繰り返し訓練することができる。図-2は異常が発生してから正しい対応処理が完了するまでの運転員の対応処置を模式的に示した図である。

プラントに異常が発生した時点では多くの場合異常は感知されていない。一般的にはプロセス警報の発生によって異常が認識され、原因の推定を行い対応処置が決定される。此処までは「異常認識判断フェーズ」と言える。決定された対応処置に基づいて、DCS画面を通じた操作、現場機器の確認操作及び定められた連絡通報が行われる。これは「対応処置フェーズ」である。現在はベテランの運転員が「認識判断」を行い、若手の運転員が「対応操作」を行う、分業を行うことで全体として安定な運転が維持されている。20年前に運転訓練シミュレータが導入された目的は、CRT運転に対応した「操作訓練」が主であったが、ベテラン運転員の定年退職を目前としている今、問題とされているのは「認識判断訓練」である。対応操作を肩代わりするいわゆる運転支援パッケージも最近は見られるようになってきているが、認

識判断はここ当分人に頼らざるを得ないであろう。

人を訓練することでできるのは異常発生から対応処置完了までの時間を短縮することであり、訓練で短縮される時間の中で救える重大事故の割合と、事故（トリップ）1回当たりの損害額とから投資効果を計算する事例も海外では多い。（この種の投資効果の算出方法をどう評価するかは意見の分かれるところであろう。）

3.3 訓練シミュレータの種類

プラント運転訓練シミュレータは下記の要素で構成されている：

- ①運転操作機能（オペレータ・ステーション）
- ②制御機能
- ③プロセスモデル、インストラクタ機能
- ④現場操作機能

（注：訓練システムと実プラントを制御している制御装置とは完全にアイソレートされている。すなわち、訓練システムと実プラント制御システムとは全く独立して別に用意されている。従って、「実機DCS接続方式」と言っても、実プラント制御に使用されている当該DCSに接続されているものではないことに注意願いたい。）

オペレータ・ステーションと制御機能に制御装置メーカー固有のハードウェア及びソフトウェアを使用するか否かで、大きく2種類に分類できる。図-3に訓練シミュレータの種類を示す。

	タイプ-A	タイプ-B	タイプ-C	タイプ-D	タイプ-E
運転操作					
制御機能					
プロセスモデル インストラクタ機能					
現場操作機能					

図-3 シミュレータの種類

図中、背景をハッチングして示している部分が制御装置メーカー固有のハードウェア及びソフトウェアを使用するものである。タイプ-Aからタイプ-Cを従来「実機DCS接続方式」と呼んでいる。オペレータ・ステーションに実プラントで使用されている機種と同種のハードウェア及びソフトウェアを使用するため、操作上の違和感はない。タイプ-A及び-Bでは制御アルゴリズムも実プラント制御で使用されているアプリケーションを使用できるので、制御アルゴリズムの検証にも使用できる利点がある。タイプ-Aでは実プラント制御に使用されているものと同種のハードウェア（制御装置メーカー固有のハード）を使用し、タイプ-Bでは汎用コンピュータ上で制御装置のアプリケーションを動作させる点が異なっている。横河電機機の提供しているタイプ-Bの制御機能では汎用パソコン1台でFCS（フィールド制御ステーション）4台分を同時に動作させることができるので訓練システムのコストを大幅に低減することが可能となった。タイプ-AをStimulation（興奮、鼓舞、刺激）タイプと呼ぶこともある。「実機DCS接続方式」と言うより誤解は少ないかも知れないが、何故「興奮」かという疑問は残る。

制御装置メーカーはタイプ-B方式の制御機能パッケージをDCSエミュレータと呼んでおり、後で紹介するタイプ-D及びタイプ-E方式の呼称と

しばしば混乱を引き起こしている。

タイプ-Cは操作ステーションのみ制御装置メーカーの機種を使用し、制御機能はシミュレーション・メーカーの制御機能で模擬するものである。訓練シミュレータ・システムとしてはある特定メーカーのDCS装置と接続する場合の特殊ケースである。

タイプ-D及びタイプ-Eは制御装置の機能も含めてシミュレーション・メーカーのソフトウェアで実現するものであり、多くの場合「DCSエミュレーション型」と呼ばれている。タイプ-Dはキーボードのみに制御装置を使用して「臨場感」の改善を図っている。此处ではエミュレーションと言わずにDCSシミュレーション型と呼ぶのが正しいと思うが、従来実機DCSを使用しないタイプを「DCSエミュレーション型」と呼んでいるので、ここではそれに従うことにする。

いずれのタイプもそれぞれ得失があるが、操作訓練重視型はタイプ-A、-B、プロセス教育（認識判断訓練）重視型はタイプ-D、-Eという分け方になるかと思う。一概には言えないがシステム価格もタイプ-Aが一番高価でタイプ-Eが廉価である。

以上長々と訓練シミュレータの種類を紹介したが、訓練の目的に応じて適切なタイプを選定することが必要である。

3.4 訓練シミュレータの機能

次に訓練シミュレータの機能を紹介する。プロセスモデルの作成、シミュレーション機能以外にも、訓練を効率的かつ効果的に実施するための下記の機能が用意されている。

- ①実行制御機能：訓練状態を任意にRun（実行）/Freeze（停止）することができる。停止モードではDCS（制御装置）も制御演算を停止し、状態を保持する。訓練途中でインストラクタが訓練生に詳細な説明を行う際や、休憩時等に使用する。
- ②スナップショット／ステップバック：訓練途中の状態を一時保存（スナップショット）し、必要に応じて状態復元（ステップバック）する機能である。異常対応訓練直前の状態を一時保存しておき、訓練生が正しい対応処置を行った場合は訓練を継続し、失敗した場合は保存した状態に戻って同一の訓練を繰り返し実施するように使用する。
- ③初期値保存／復元機能：運転訓練を開始する状態をファイルとして保存しておくことができる。その日の訓練に応じた（スタートアップ訓練の場合0%負荷状態、またシャットダウン訓練の場合は100%負荷状態など）初期状態をロードして訓練を開始する。前項のスナップショットで一時保存した状態を初期値としてファイルに恒久保存することができる。
- ④現場操作模擬機能：実際のプラントの運転はDCS操作のみで行われているのではなく、現場での操作、確認作業も大きな比重を占めている。現場操作端末を通して現場指示計の確認、現場手動操作機器の操作を行う。一般的にDCS操作端末とは別の部屋に置かれ、ページング機器を用いてのコミュニケーション訓練も行われる。最近ではデジタルカメラで撮影された現場の写真を表示して臨場感を持たせる場合も多い。また、異常時（安全弁動作、ポンプキャビテーションなど）の状態を音声入り動画（デジタルビデオ）で撮影し、訓練状態と同期させて再

生することも可能である。

- ⑤マルファンクション（異常）発生機能：プラントの異常状態や機器の故障を意図的に発生させる機能で、訓練シミュレータの真骨頂の機能と言える。今まで蓄積されている「トラブル対応マニュアル」のトラブル事象を再現させて経験の共有化を行ったり、故障が想定される全ての伝送器で模擬故障を発生させて対応処置の検討を行うために使用される。
- ⑥自動（シナリオ）運転機能：あるストーリーを持った手続きに基づいた訓練や、ある運転員（例えば右から2台目のDCS操作端末担当など）の操作のみを省いて作成した手続きの訓練（カラオケ運転）を行うために使用される。複数運転員が共同して行うスタートアップ操作のある担当部署を自習することも可能である。
- ⑦リプレイ評価機能：訓練終了後に運転状態を再現し（リプレイ）、運転操作記録や発生事象をファイルに出力する機能で、訓練員の評価にも使用される。
- ⑧DCS（PCS）接続機能：いわゆる実機DCS接続方式でのみ使用される。DCS側から操作信号（MV）を受信し、プロセスモデルで計算されたプロセス変数（PV）をDCS側に送信する。実プラントでは現場機器と入出力カードとを接続する信号ケーブルに相当する。操作信号、プロセス変数以外に訓練制御指令（Run/Freezeなど）も処理される。

以上が現在市販されているプラント運転訓練シミュレータの概要である。

3.5 何とか安く（易く）できないか

続いて運転訓練シミュレータ・システムは何故にこれほど値段が高いのか、また価格を下げる方策は無いか検討して見たい。

図-4に訓練シミュレータ・システムの価格構成の例を示す。モデル規模として中の上（大規模では無いがそれほど小さくも無い）を想定した。費用は、大まかに下記の項目で構成される。

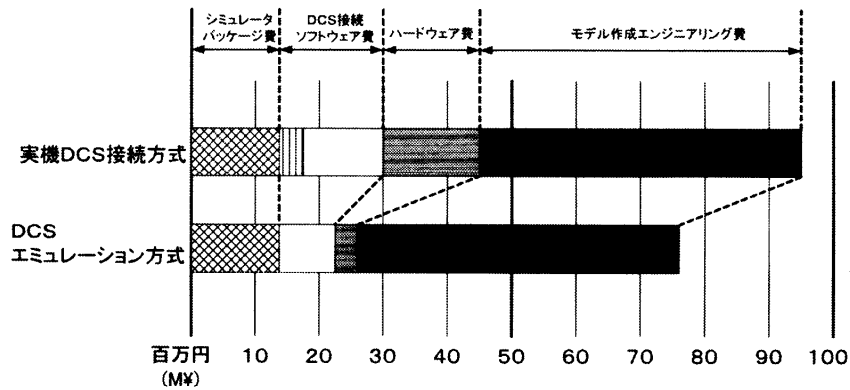


図-4 訓練シミュレータ・システム価格構成

- ①シミュレータパッケージ費：モデル構築機能，訓練管理機能が含まれる。例に示すパッケージは「開発版」であり，低価格に設定した開発機能を持たない「実行版」も用意されている。
- ②DCS接続ソフトウェア費：実機DCS接続方式の場合は，DCSメーカーのパッケージ費用，DCSエミュレーション方式の場合は制御機能作り込みエンジニアリング費である。
- ③ハードウェア費：実機DCS接続方式の場合は，制御装置メーカー固有ハードウェア費を含む。DCSエミュレーション方式の場合は汎用PC

とネットワーク機器である。

- ④モデル作成エンジニアリング費：これが全体の価格の半分以上を占めている。例として示すモデルの開発は25～30人／月を想定している。開発期間が約12ヶ月，担当エンジニアは2～3名の規模である。

全体価格を下げるにはこのエンジニアリング費を下げる方策を考えなくてはならない。図-5は訓練シミュレータ・システムの機能構成を示す。

図に示すようにプラントモデル部分はごく一部

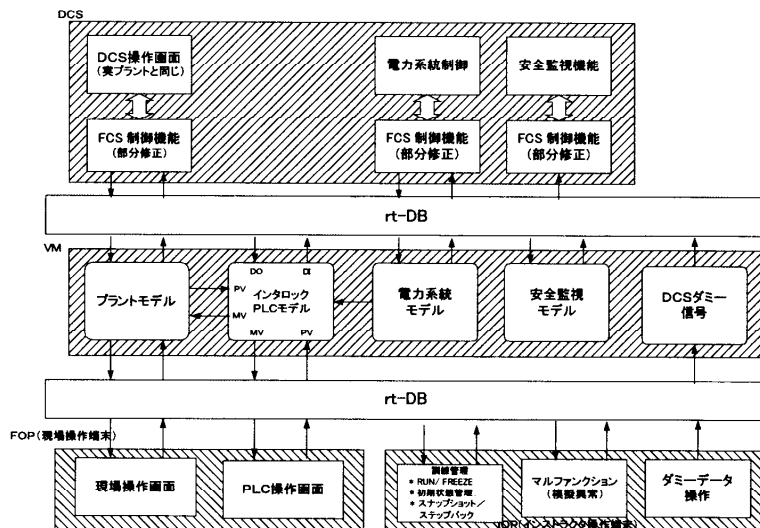


図-5 訓練シミュレータ機能ブロック図

に過ぎない。DCSに取り込まれていない現場制御システム、PLC、安全監視システム等も多く、そのモデル化に結構な時間が取られている。技術的に難しいのではなく、図面等が管理されていなくそれらの機器の仕様が不明確でなかなか決められないのがネックとなる場合がほとんどである。

私どもシミュレータ・メーカーが作成を受託する場合、開発期間は次の3つのフェーズに分けられる：

- ①仕様決め：訓練の目的、モデル化の範囲、精度を打合せの中で決定する。
- ②モデル開発：シミュレーション・システムを開発する。
- ③チューニング：モデル開発期間中に静的な精度はスペック内に入れるが、動的な挙動をこのチューニング期間中にベテラン運転員の方と調整する。

それぞれのフェーズで開発期間の1/3ずつを消費している。一方、ユーザ自身でシステム開発をされる事例では、仕様決め、チューニング期間が短く、全体として開発期間がかなり短くなっている。

「ユーザ自身がモデルを開発する。」のが全体価格を下げる一つの有力な手段であろう。そのた

めにはモデル開発ツールが使いやすいものでなければならない。私どもがご提供しているVisual Modelerは、化学工学とプラント運転の知識があればプラントモデルを構築できるパッケージである（事実石油化学のユーザではVisual Modelerを使用してモデルを自社開発される例がほとんどである）。もう一つの価格低減手段は、訓練の目的を明確にして、総花的システムとしないことである。

4. シミュレーションモデルの活用

シミュレーション・システムの価格を相対的に下げる（？）方策として、プラントモデルの多目的利用が考えられる。本稿は運転訓練シミュレータについて記述しているので詳細は述べないが、新世代のプラントシミュレータの有るべき姿を、図-6のように描いている。

此处では運転訓練のみならず、運転支援、異常診断、最適化などを視野に入れている。もっともこれらの議論は運転訓練シミュレータ・システムのみを低価格で購入したいというユーザには、何の意味も持たないのではあるけれど。

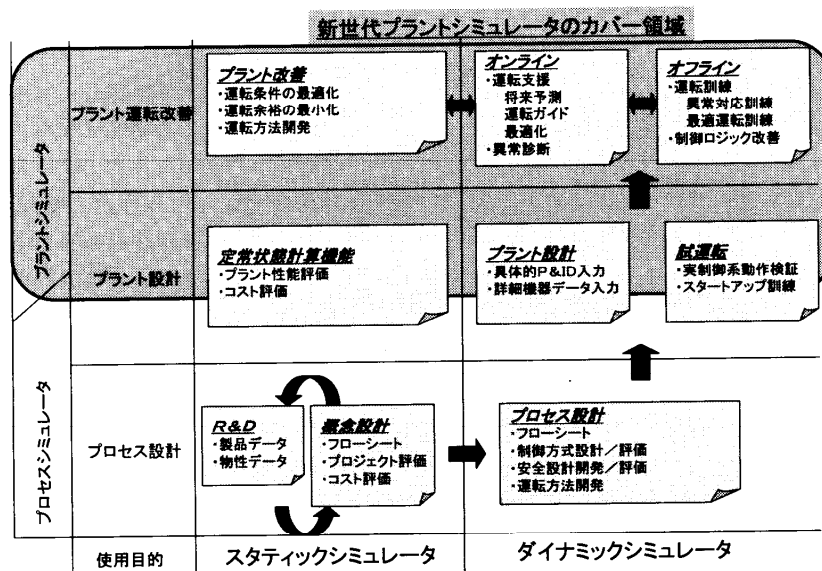


図-6 新世代プラントシミュレータのカバー領域

5. 運転支援システム

これまで長期連続運転への備えの一つとして運転訓練シミュレータ・システムについて述べたが、最後に運転支援システムについて触れてみたい。

5.1 運転支援とは何か

広い意味では自動制御、高度制御も運転支援システムであるが、自動化にのらない運転員の作業をサポートするものを「運転支援システム」と呼んでいる。多くはトラブル対応時及び非正常作業時の操作支援、また異常検知、異常診断等の認識支援の二つに分別できる。

非正常作業は通常、操作マニュアルを見ながら行われている。それをPCに組み込み対話型で作業を進めていく支援システム(一例を挙げると、横河電機^(株)製のExapilot)が販売されている。Exapilotはフローチャート形式で構築できるので、運転員自らがアプリケーションの開発が行える。また、CRT画面を通してフローチャートを見ることができ、オンライン・マニュアルとして活用されているユーザも多い。Exapilotは図-2でいう対応処置フェーズの支援システムである。

一方、認識判断フェーズの支援システムはこれからである。例えばプロセス警報も異常認知支援の一つであるが、DCS化と共に警報の価格低下が生じ、「何でもかんでも警報」といった無エン지니어リング状態が引き起こされている。横河電機^(株)のExaplogは警報、イベントログの再エン지니어リングを行うための支援システムであり、無駄/無意味な警報を削減することで運転員の負荷を軽減することを目指している。

異常診断、対応処置判断システムはかつて人工知能技術がもてはやされた際にチャレンジされたが、まだまだ改善が必要である。

5.2 支援システムとシミュレータ

Exapilotとプラントモデルとを接続して、Exapilotで作成したアプリケーションの検証、デバッグを行っている事例もある。Exapilotでスタートアップ手順を構築している場合に、4年に一度のスタートアップ時にアプリケーションの不具合が出てしまっただけでは支援システムにならないからである。

図-6に示したように、私どももシミュレータを活用した異常検知(データリコンシリエーション技術)、異常診断を考えている。しかしながら、対応処置の選択/決定は人間の仕事であろう。対応処置の時間的余裕がある場合は、シミュレータ上でいくつかの選択手段を事前にシミュレーションし、その結果に基づいて運転員が判断して最善の手段を決定するというのが、運転員とシミュレータ(コンピュータ)の望ましい関係と考える。

人とコンピュータ、お互いに得意分野を尊重すべきである。人はコンピュータの言いなりにならないよう感性を磨く必要がある。

6. あとがき

おかげさまで弊社のダイナミック・シミュレータパッケージ(Visual Modeler)がこのたび化学工学会の技術賞を受賞することになりました。ひとえにユーザ各位のご協力の賜と感謝しています。シミュレーション・システムを販売している側からのかなり一方的な考えを書きましたが、今後ともシミュレーション技術が皆様のプラント運転の支えとなるように努力して参ります。ご意見、ご批判等頂ければ幸いです。