

運転支援システムにおける ダイナミックシミュレータの一応用例

(株)オメガシミュレーション 石川 真紀夫
Makio Ishikawa

1. はじめに

昨今のコンピュータの性能・機能向上には、ハードウェア・ソフトウェア技術を問わず目に見張るものがあるのは皆さんご存知の通りであるが、私にとっても10数年前、学生時代に制御実験に使用していたコンピュータと、こうして原稿の執筆に使用しているコンピュータとを比較してみても、比較にならないほどの性能・機能（特にGUIやネットワーク技術など）の違いが伺える。こうした目覚ましいコンピュータの発展を一つのバックグラウンドに、プラント業界におけるシミュレーション技術も格段の進歩を遂げてきている。

中でもプラントの動的な特性を模擬するダイナミックシミュレータは、プラントのオペレータの教育・訓練のための運転訓練シミュレータとしてのみならず、オフラインでのプロセスの解析や制御系の設計や改善、高度制御システムの開発・検証といった領域から、プラントとオンラインに接続して使用する予測シミュレーションなどの運転支援や非定常操作の最適化といった領域などに利用されるようになってきている。

(株)オメガシミュレーションが開発・販売を行っているプラントダイナミックシミュレータ Visual Modeler^{*1}の開発コンセプトはこうしたオフラインからオンラインというプラントサイクルにおいて、一貫して共通に利用可能な疑似プラントを提供することにある。第1図にプラントサイクルにおけるダイナミックシミュレータへのニーズと求められる機能を示す。

本稿では、Visual Modelerの機能を紹介すると共に運転支援システムと Visual Modelerをオフラインで接続することによって有用性を見出すことができた例を紹介する。

2. ダイナミックシミュレータに要求される機能

ダイナミックシミュレータに求められる機能をステディーステートシミュレータと比較しながら説明する。第1表に Visual Modelerの機能をまとめる。

2-1 モデルの厳密さ

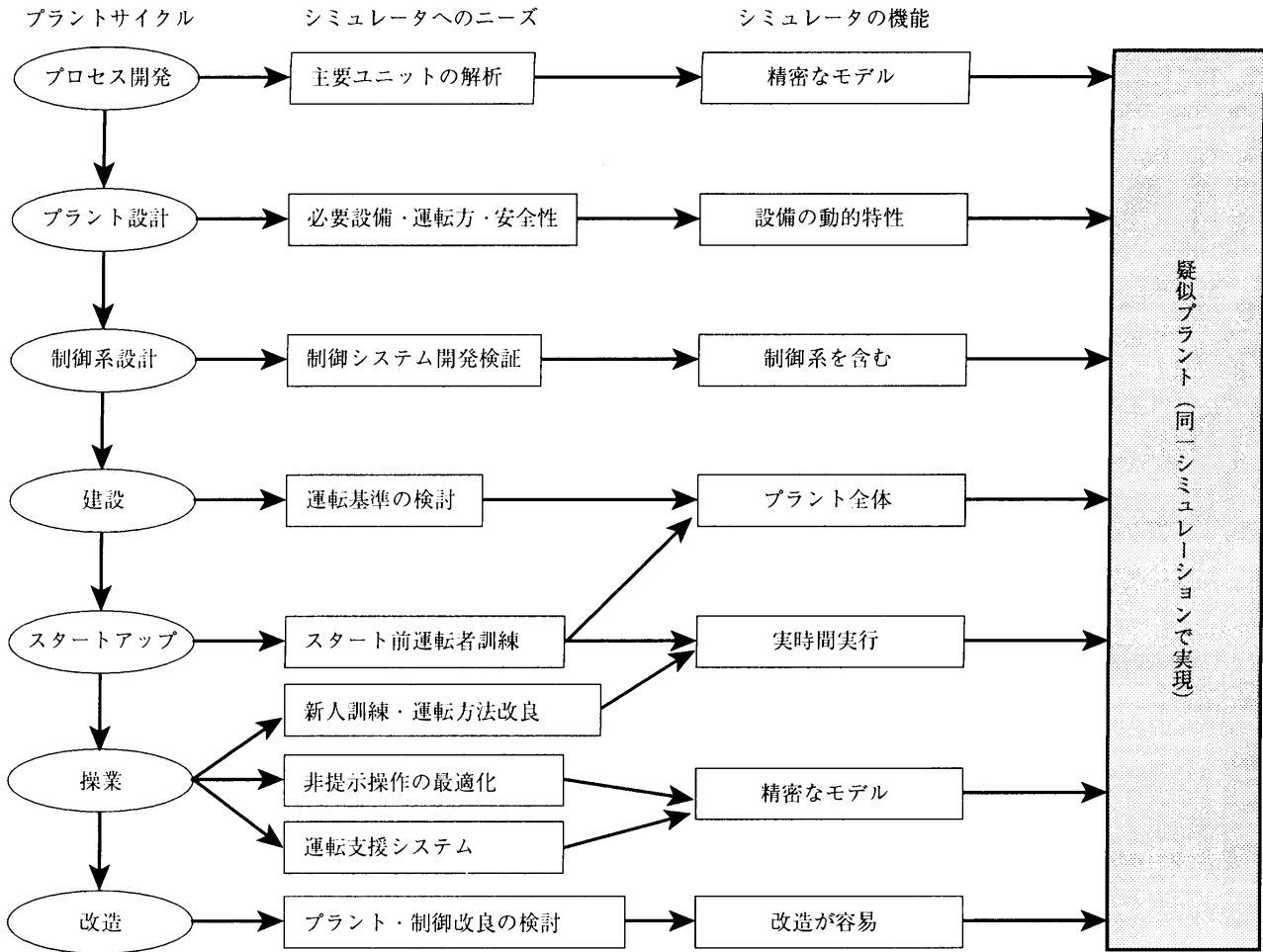
モデルの厳密さには、ステディーステートシミュレータと同等あるいはそれ以上が要求される。例えば蒸留塔における各段ごとの気液平衡と熱収支計算はステディーステートシミュレータと同様に行われるとともに、気相ホールドアップ変化による塔内圧力の変化も計算される必要がある。バルブ類においても、バルブの流量特性や作動速度などを含むユニットとしてモデル化されている必要がある。

またモデルとして重要なのは圧力と流量の関係の取り扱いである。つまり、圧力の変動を正しくモデル化するにはプラント全体の圧力と流量との関係を連立して解く、いわゆる圧流バランス計算を常時行う必要がある。Visual Modelerでは化学工学に基づく物理モデルを解く上に、圧流バランス計算の関係を自動的に抽出して高速に解く機能も備えている。

2-2 シミュレーションの規模

運転方法や訓練シミュレータの検討には、プラントユニット以外に制御用機器や起動・停止などの非定常

*1 Visual Modelerは三井化学(株)の登録商標である。



第1図 プラントサイクルにおけるダイナミックシミュレータへのニーズと機能

操作のためのラインや手動弁、切り替えて使用する予備設備、あるいは安全設備なども組み入れる必要がある。

このため、同じプラントの範囲を対象にした場合、ステディステートシミュレータの10～数十倍のユニットが必要となるため、大規模なプラントのシミュレータでは数千のオーダーの組み合わせが可能であることが望まれる。Visual Modelerでは1000ユニット以上のシミュレーションモデルが扱えるように設計されている。

2-3 標準ユニットとユーザユニット

ダイナミックシミュレータでは、ステディステートシミュレータでは使用されない様々なユニットを必要とする。

また、ステディステートシミュレータには同じユニットで表現できるものも、ユニットの動特性や、運

転操作の違いなどを考慮して実際の設備に対応したユニットを必要とすることが多々ある。このため、Visual Modelerでは、200を超えるユニットを標準ライブラリとして用意している。

しかし、実際には標準ユニットだけでは不十分なケースが多いため、Visual Modelerではユーザが容易にユニットを作成してライブラリとして組み込むことが可能な仕組みを用意している。また、ユニットの作成に際しては、方程式記述言語であるEQUATRAN^{*2}やC言語を利用できる点が大きな特長となっている。

2-4 実行機能

ダイナミックシミュレーションは、実時間で実行可能で、秒毎のインタラクティブな応答が可能なのが必須条件といえる。これは訓練シミュレータのように

*2 EQUATRANは三井化学(株)の登録商標である。

第1表 Visual Modler機能の一覧

項目	機能	項目	機能
システム環境		時系列データファイルからの取り込み、書き出し	
(1) ハードウェア条件	エンジニアリングワークステーション RAM 128MB ハードディスク設定時 150MB、作業域 500MB以上	(5) 圧力・流量の計算方法 (6) 定常状態計算	圧流バランス連立方程式の同時解法 加速シミュレーションによる
(2) 機種とOS		シミュレーション操作性	
HP9000 (HP-UX 10.0以降) 日本語OSおよび英語OSに対応		(1) 逐次入力型運転操作	PFD画面から随時可能 VMVIEWによる運転操作パネルから随時可能
物性計算関係		(2) シナリオ型運転操作 (3) スナップショット	自動操作機能により可能 随時スナップショット・ステップバックが可能。自動スナップショット
(1) 物性データベース	内蔵ライブラリ純成分200 (DIPPERをベース) 内蔵2成分間パラメータ (SRK, PR各140)	蒸留塔モデル	
(2) 物性計算法	気液平衡/液液平衡/エンタルピ/密度/粘度	(1) 気相ホールドアップ	塔全体で計算
(3) ユーザーデータなど	ユーザー物性ライブラリ(純成分、2成分間)に登録と検索が可能	(2) 気相ホールドアップ (3) 外部への熱損失 (4) ドライスタートアップ	各段ごとに計算 考慮 空塔からの起動が可能
モデリングおよび解法技法		反応器モデル	
(1) モデリング入力方法	グラフィック入力	(1) 形式	完全金剛槽、汎用固定床
(2) 内蔵モデルの種類と数	120種類	(2) 反応式	EQUATRAN、パラメータ入力
(3) カスタムモデル作成機能	ユニットモデル EQUATRAN、C言語、FORTRAN 物性計算 C言語、FORTRAN	(3) 気相液相ホールドアップ	気相・液相とも考慮
(4) 外部時系列データ	ユニット図形 専用エディタを内蔵 実時間データベースからの読み込み	制御系モデル 124種類	
		(1) コントローラタイプ	位置型PID、速度型PIDほか
		(2) コントロールバルブ	各種特性を用意

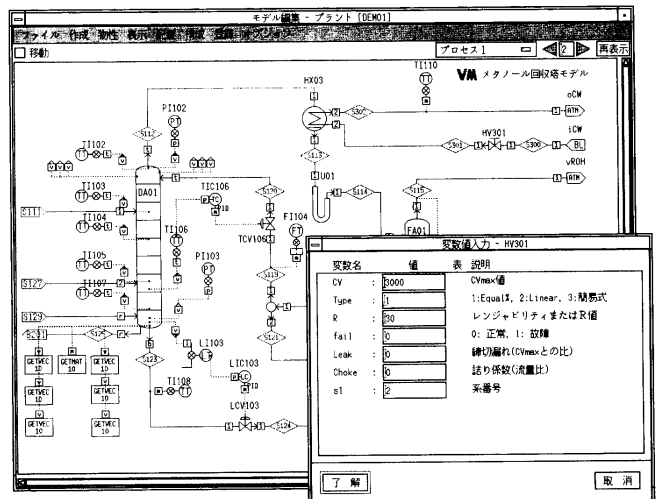
リアルタイムシステムとして用いる場合は当然であるが、エンジニアが解析用として用いる場合にもプラントの動きを実感する上でも非常に有効である。

Visual Modlerでは、前述のように厳密でかつ大規模なモデルを秒単位で計算するために、各ユニットの計算、物性の計算あるいはプラント全体の圧流バランス計算を高速化するために工夫が施されている。

2-5 エンジニアリング環境

大規模なプラントを対象とする場合には分割開発が可能な仕組みが欠かせない。また、ステディステートシミュレータでも一般的になっているPFD (Process Flow Diagram) 画面からのモデル構築環境も重要である。Visual Modlerでは、1つのプラントを複数のプロセスモデルに分割して複数のエンジニアが独立に開発を行い、これらをそのまま組み合わせることでプラント全体のモデルとすることができる。

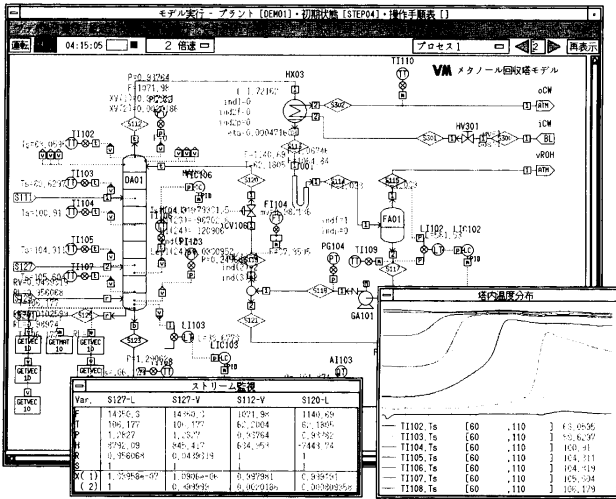
また、モデル構築環境にもGUIを用いた効率の良い利用環境を提供している。第2図にモデル編集フェーズのPFD画面、第3図にはモデル実行フェーズのPFD画面を示す。



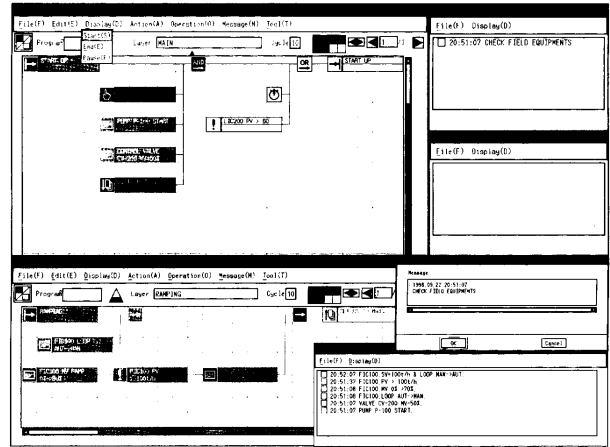
第2図 モデル編集フェーズのPFD画面

2-6 初期状態計算

シミュレーションを開始するプラントの状態を初期状態という。モデルを組み立てたばかりの状態は、プラントの建設が完了したときの状態に近く、通常はこの状態を初期状態として用いることはない。



第3図 モデル実行フェーズのPFD画面



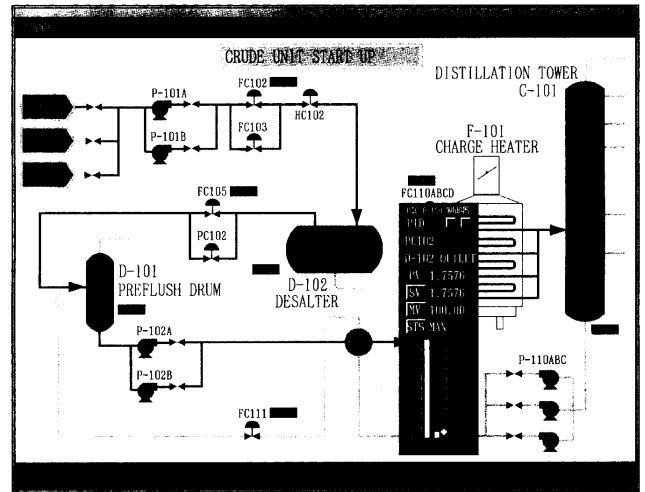
第4図 Exapilotの画面例

初期状態は、50%あるいは100%負荷の定常状態であったり、あるいはスタート途中の昇圧完了時であったり、シミュレーションの目的に応じて様々な状態を用意することが必要になる。また、最近の応用では、実プラントの現在の運転状態に合わせた初期状態を生成してその後のシミュレーションを実施することにより運転法を最適化することも行われている。Visual Modelerでは、初期状態は実際にシミュレータを運転してその状態を作り出すことによって得るが、特にリサイクルを含む大型のプラントでは、プラントが定常に達するには長時間を要する。このため加速シミュレーションが必要な機能として用意されている。

3. 運転支援システムとの接続

最近、オペレータの意思決定などの判断業務をサポートするための運転支援システムの構築が話題となっているが、今回、横河電機㈱から販売されている運転効率向上支援パッケージExapilot^{※3}とVisual Modelerのオプションパッケージである運転操作のインターフェースとしてグラフィック画面と他システムとの連携機能を提供するVMVIEWとを接続することにより、運転支援システムの開発及び検証を容易にするシステムをプロトタイプとして構築したので紹介する。

Exapilotはプラントスタートアップ、シャットダウン、品質切替、洗浄工程といったオペレータ主体で行



第5図 VMVIEWの画面例

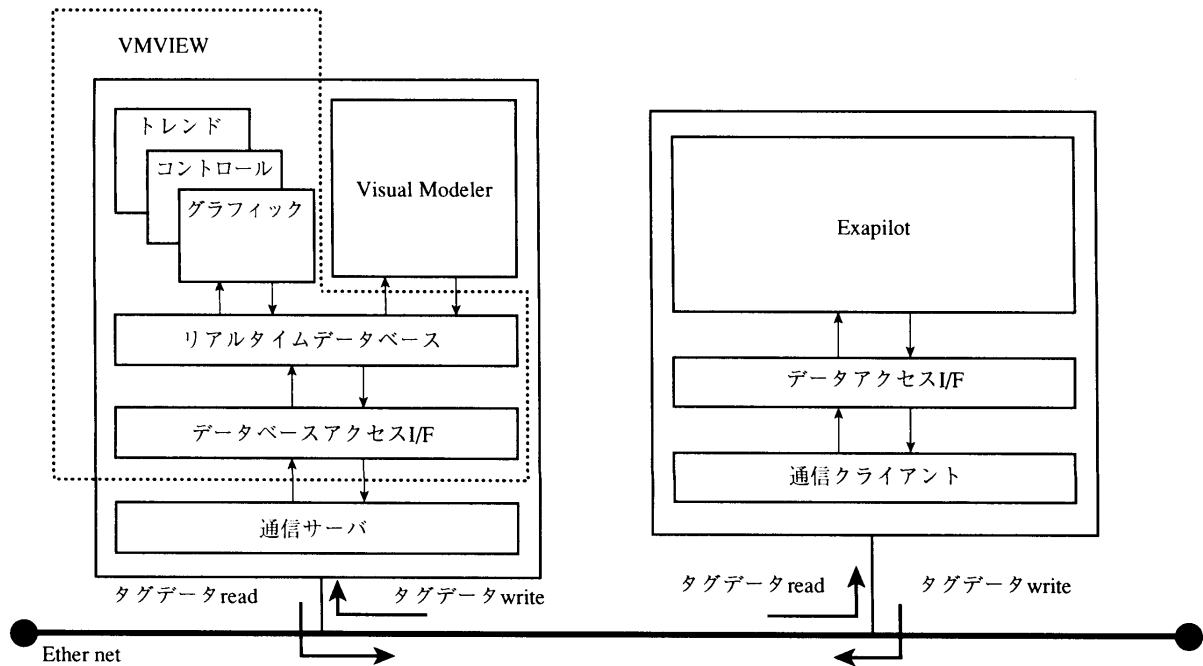
われている運転領域の運転品質を、高いレベルで均質化(自動化)することにより、オペレーションコストを改善することを目指したソフトウェアパッケージである。第4図にその画面例を示す。

VMVIEWは運転操作のインターフェースとしてグラフィック画面(第5図)を備えるだけでなく他のシステムからVisual Modelerのデータベースにアクセスを可能とする関数ライブラリをサポートしている。

ExapilotとVMVIEWを接続したシステム構成を第6図に示す。

今回のプロトタイプでは、プロセスモデルとして常

*3 Exapilotは横河電機㈱の登録商標である。



第6図 ExapilotとVMVIEWを接続したシステム構成図

圧蒸留装置であるCDUモデルを使用しており、スタートアップ操作の初期手順であるLGO循環（ディソルタ、プレフラッシュドラム、ファーンエス、タワーのボトムまでの循環）をExapilotにより自動化させたものである。第7図にプロセスフローを示す。また、プロセスモデルと制御系はVisual Modelerで作成した（第8図）。

Exapilotからは、タグベースによるデータアクセスリクエストを今回開発した通信クライアントに要求するだけでVMVIEWの提供するリアルタイムデータベース内にあるVisual Modelerのプロセスデータ、コントローラのパラメータにアクセスすることができる。また、VMVIEWの提供するグラフィック画面、トレンド、コントロールループからもこれらのデータを参照・設定・変更することが可能となっている。

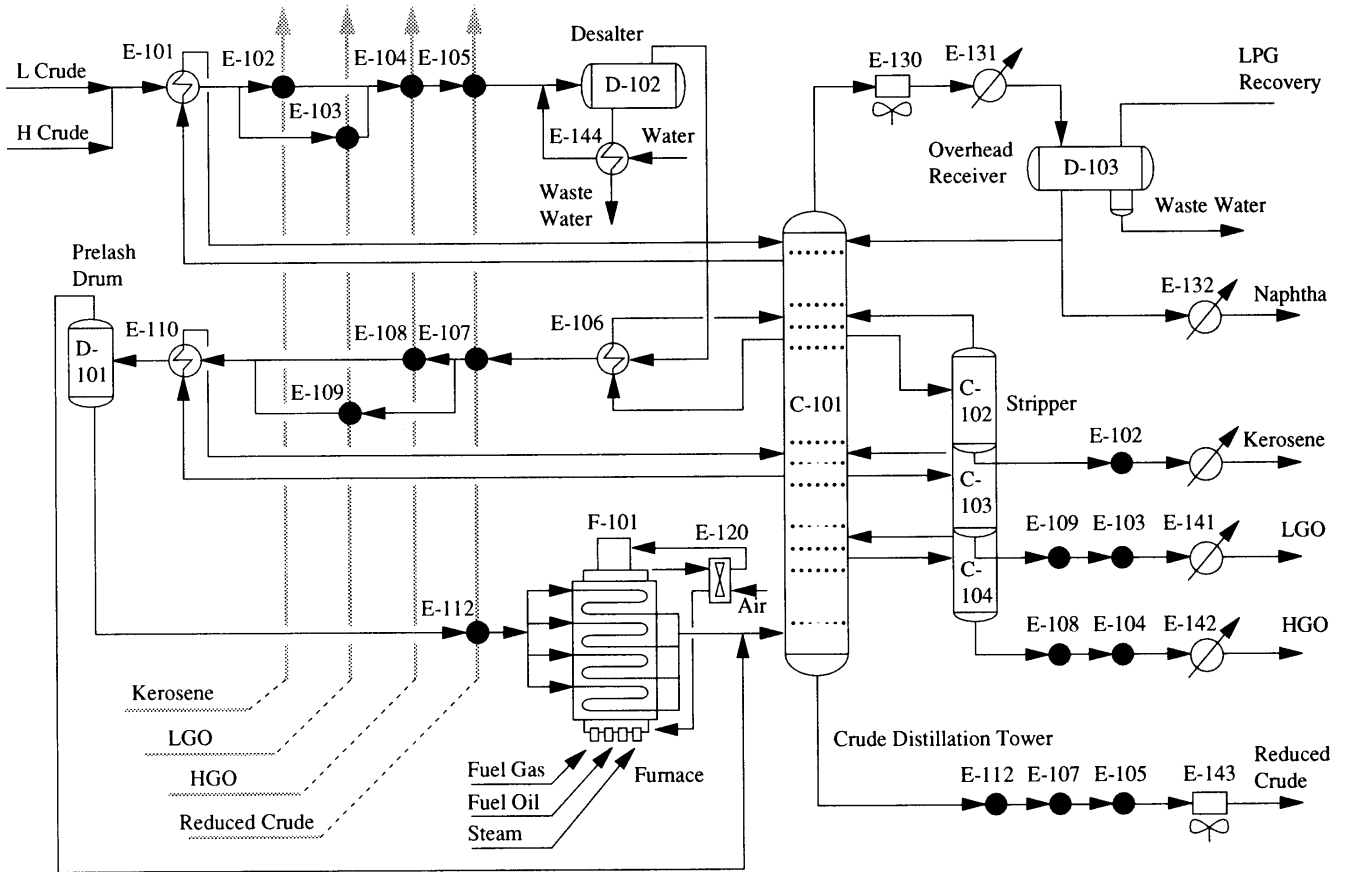
このシステムを構築することによりダイナミックシミュレータとの接続をせずに行っている場合のアプリケーション（今回の場合はプロセスの立ち上げ手順）の構築・デバッグ・検証といった作業工数の削減が期待できる。

4. 今後への課題

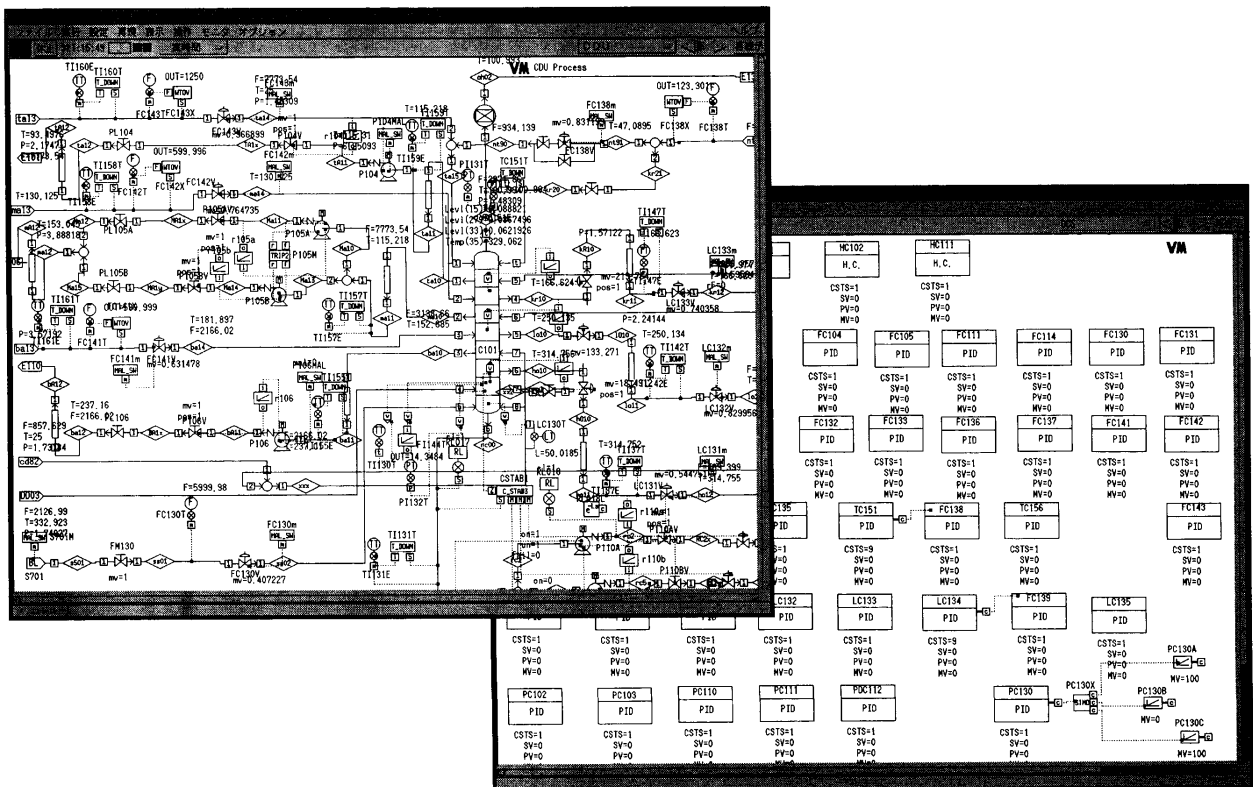
確かにコンピュータ技術の飛躍的な進歩を背景に、

ダイナミックシミュレータの性能、機能は向上してきているが、それ単体だけでは様々な工程（プラントサイクル）で使用するには十分な機能を備えているとはいえない部分がある。特に他のソフトウェアとの連携やデータ（プロセスデータだけではなくグラフィックや制御ロジックなど）の共有化といった複数のシステム（アプリケーション）にまたがる場合に、相互のシステム間での接続性の良さが要求されている。当然、複数のシステムでデータを共有するためには、各システムの実行タイミングを制御する仕組みやデータへのアクセス速度、アクセスのし易さを提供する機能が必要となる。しかし、これらの機能を開発することでダイナミックシミュレータの様々な利用方法を考えることが可能となる（第9図）。

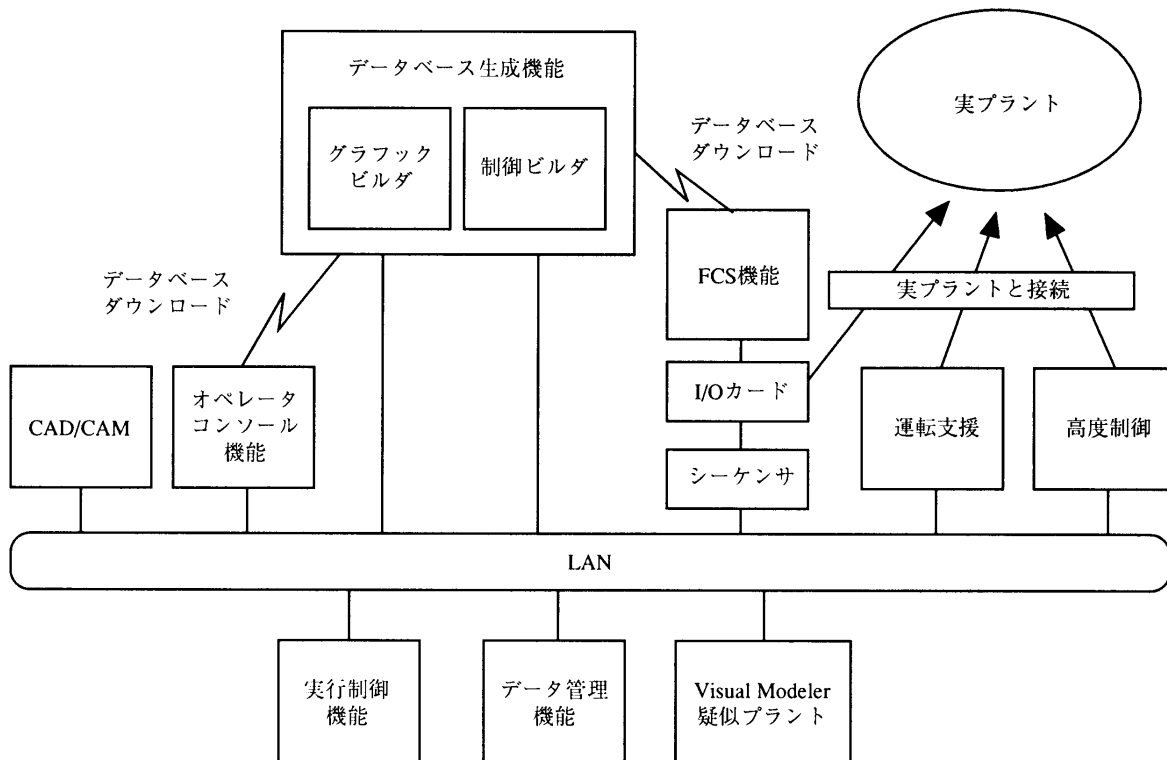
つまり、プラント設計段階でのCAD/CAMによるプラントの設計時に作成するPFDや、DCS用に作成するグラフィック画面などのMMIデータの共有化が可能であれば、ダイナミックシミュレータの開発や運転訓練シミュレータの開発工数の削減に繋がる。また、最近ではDCS用のエンジニアリング環境においてもオブジェクト指向の技術が導入されてきている点などから、DCS用に開発されるアプリケーション（制御ロジック、グラフィック等）の各オブジェクトを容易にダ



第7図 プロセスフロー図



第8図 Visual ModelerのPFDと制御系



第9図 他アプリケーションとの接続性

ダイナミックシミュレータと接続（もしくは組み込み）することができれば、プラント設計時の制御系の設計・開発やDCSのアプリケーションの開発・デバッグ、運転訓練シミュレータシステムの構築が手軽いものになるであろう。

さらにDCSのI/Oがシーケンサなどを介して物理的に接続が可能となれば、DCSのハードの異常検知やループバックチェック、シーケンス制御のチェックなどがオフラインで行えることになる。

また、今回は運転支援機能とダイナミックシミュレータをオフラインで接続した例を示したが、高度制御機能といったアプリケーションとの接続が可能となれば同様に開発・検証に役立つであろう。

5. おわりに

今まで市販されてきている各種シミュレータは、様々な形で各フェーズにあった形で提供されてきている。しかし、その提供形態はユーザからしてみると、プラントサイクルにおける各フェーズで異なる製品を購入しなくてはならず、まったく異なった使用方法をマスターした後にはアプリケーションを開発しているの

ではなかろうか。

今回紹介したVisual Modelerはプラントサイクルにおける設計から教育、運転訓練、運転支援、最適化といった各フェーズにおいて共通なツールとして使用できる点を運転支援システムの開発のサポートといった側面から紹介してみた。今後は各フェーズにおける様々なアプリケーションとの連携を可能とする製品の開発を推進していきたい。

<参考文献>

- (1) 小口梧郎, 林田豊: 化学工学会 関東支部 千葉コンビナート講習会 [97/12/05] テキスト, P.25~32
- (2) 大村憲一: 計測技術 342, Vol.26, No.4, A09-12 (1998), 『ダイナミックシミュレータ Visual Modeler』
- (3) (株)トクヤマ 浜田淳一, 西村昌浩/(株)オメガシミュレーション 大村憲一: 計装 491, Vol.41, No.9, 10 (1998), 『製造プラントへのダイナミックシミュレータの適用 (上)、(下)』
- (4) 三菱化学(株) 吉田, 浅沼, 佐藤/横河電機(株) 小林: 計装495, Vol.42., No.1 (1999) 『非正常運転自動化のためのシステム構築の考え方・進め方』

(筆者紹介はkeyman flash参照)