

〔ユーザーニーズ対応の製品と技術〕

ダイナミックシミュレータ Visual Modeler

(株)オメガシミュレーション 大村 憲一
Kenichi Ohmura

1. はじめに

プロセスのダイナミックシミュレーション自体は、既に1960年代から行われており、また、そのためのツールとしての汎用のダイナミックシミュレータも多数開発され、いくつかは商用として販売され利用されてきた。しかし、最近になって、ダイナミックシミュレータの利用方法とダイナミックシミュレータの機能は大きく進歩しつつある。運転者訓練用のトレーニングシミュレータは、従来の運転初心者教育のための補助的な手段から、安全かつ少人数による効率的な運転継続のために、熟練運転者も利用する必須の設備になりつつある。ここで用いられるダイナミックシミュレータでは、従来のものと異なり、化学工学に基づくより厳密で詳細なプラントのモデル化が行われるようになってきている。また、運転および制御システムの高度化のための解析手段としてのダイナミックシミュレータの利用は従来から広く行われてきたが、最近では、スタートアップ/シャットダウンの自動化検討やオンラインでのシミュレーションによる最適運転パターンの生成などにも利用されつつあり、当然ながら、プラント機器・制御機器を含めて、より精度の高い詳細なシミュレータが要求されている。これらの変化の共通な背景には、ニーズの側からは、プラント起動・停止機会の減少と安定・安全運転の必要上、プラント自体を恣意的に変化させることが難しくなったことがあり、また、シーズの側には、コンピュータの計算能力の大幅な進歩とグラフィックによるユーザインタフェースの進歩によって、より精密で詳細なシミュレータの開発が容易になってきたことがある。

本稿で紹介するVisual Modelerは、このような背景から新たに開発されたダイナミックシミュレータであり、その狙いは、運転訓練から高度運転制御システムの開発・検証さらには、オンラインシステムにおける最適運転実現のツールとして共通に利用可能な「擬似プラント」としての新時代のシミュレータを提供することにある。

2. ダイナミックシミュレータに必要な機能

スタティックシミュレータはごく一般的に利用されるようになっており、その必要とされる機能も定着してきているが、既存のダイナミックシミュレータの機能はまちまちであり標準として参照できるものはない。そこで、新時代のダイナミックシミュレータに求められる機能について、スタティックシミュレータと比較しながら、Visual Modelerでの実現内容を説明する。なお、第1表はVisual Modelerの機能をまとめたものである。

(1) モデルの厳密さ

シミュレータを構成するユニット（蒸留塔、熱交換器など）のモデルは、スタティックシミュレータと同等あるいはそれ以上の厳密さが求められる。たとえば蒸留塔では、各段ごとに気液平衡と熱収支計算がスタティック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が計算される。熱交換器は、スタティックシミュレータでは通常出入りのバランスだけが必要なのに対し、ダイナミックでは、動的な特性を表すため内部の状態の変化まで詳細化する必要がある。また、スタティックでは無視されるか単な

第1表 Visual Modler機能の一覧

項目	機能
システム環境	
(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 48MB ハードディスク設定時 150MB、 作業域 500MB
(2)機種とOS	HP9000 (HPUX-9.0以降) IBM RS6000 (AIX3. 2. 5以降)
物性計算関係	
(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)
(2)物性計算法	(第2表)
(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
モデリングおよび解法技法	
(1)モデリング入力方法	グラフィック入力
(2)内蔵モデルの種類と数	120種類(第3表)
(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 ユニット図形 専用エディタを内蔵
(4)外部時系列データ	実時間データベースからの読み込み 時系列データファイルからの取り込み、 書き出し
(5)圧力・流量の計算方法	圧流バランス連立方程式の同時解法
(6)定常状態計算	加速シミュレーションによる
シミュレーション操作性	
(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
(2)シナリオ型運転操作	自動操作機能により可能
(3)スナップショット	随時スナップショット・ステップバック が可能
標準蒸留塔モデル	
(1)気相ホールドアップ	塔全体で計算
(2)液相ホールドアップ	各段ごとに計算
(3)外部への熱損失	考慮
(4)ドライスタートアップ	空塔からの起動が可能
標準反応器モデル	
(1)形式	完全混合槽、汎用固定床
(2)反応式	EQUATRAN、パラメータ入力
(3)気相液相ホールドアップ	気相・液相とも考慮
制御系標準モデル	
(1)コントローラタイプ	位置型PID、速度型PID、各種演算器 ほか(第4表)
(2)コントロールバルブ	各種特性を用意(第3表)

る差圧ユニットとして取り扱われるバルブ類も、ダイナミックシミュレータでは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。

物性の計算法は基本的にはスタティックシミュレー

第2表 物性計算法の一覧

物性	計算法
気液平衡係数	(1)理想溶液 (Antoine式+Raults則) (2)理想気体+液活量係数 (Wilson式) (3)理想気体+液活量係数 (NRTL式) (4)理想気体+液活量係数 (UNIQUAC式) (5)SRK式 (6)PR式 (7)蒸気表の近似式 (水単成分系) (8)ユーザー関数
液液平衡係数	(1)NRTL式 (2)UNIQUAC式 (3)ユーザー関数
エンタルピー	(1)温度の2次式 (気、液) (2)SRK式 (気、液) (3)PR式 (気、液) (2)蒸気表の近似式 (水単成分系、気、液) (3)ユーザー関数 (気、液)
密度	(1)理想気体 (気) (2)温度の2次式 (液) (3)指数近似式 (液) (4)SRK式 (気、液) (5)PR式 (気、液) (6)蒸気表の近似式 (水単成分系、気、液) (7)ユーザー関数 (気、液)
粘度	(1)温度の2次式 (気、液) (2)指数近似式 (液) (2)多項式 (水単成分系、気、液) (3)ユーザー関数 (気、液)

タと変わらない。ただし、特に高速な実行が必要な場合のために、温度の2次式など簡略な計算法も用意している(第2表)。Visual Modlerでは、同じモデル内で同時に複数の計算法を組み合わせる用いることができるので、精度の高さと計算効率とを両立させることができる。

(2) シミュレーションの規模

トレーニングや運転方法・制御方法の検討に利用可能なダイナミックシミュレータには、制御のための機器・配管や計装機器あるいは貯槽などの追加に加えて、定常運転では使用しない起動・停止など非定常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、スタティックシミュレータの10~数十倍の数のユニットが必要になる。規模の大きなプラントのシミュレータでは、組み込まれるユニット(計装ユニットを含む)の数は数千のオーダーになることがある。Visual Modler

第3表 プロセスユニットモデル一覧表

バルブ	手動操作弁 絞リ弁 ON/OFF 空気式自動弁 絞リ HW付 ダンパー ON/OFF モーター弁 一般自動弁 3方分岐弁 絞リ ON/OFF 3方分岐弁 絞リ ON/OFF 逆止弁 安全弁 大気放出 ライン内 シーケンス弁 調圧弁 制御弁ブロック	混合・分流	混合点 (2~10流体) 分流点 (2~10流体) ヘッダー 2~8 混合・分流 均圧	相平衡分離器	フラッシュドラム 水系 汎用 簡易 デカンタ
		系外との出入り	系外から 定圧 流量指定 逆流あり 系外へ 定圧 流量指定 逆流あり 大気取込 大気放出 プロセス間接続 (FROM、TO) スタック	蒸留塔	棚段・吹込型 棚段・リボイラ型 充填・吹込型 充填・リボイラ型 包括棚段・吹込型* 包括棚段・リボイラ型* 包括充填・吹込型* 包括充填・リボイラ型* 複合棚段・吹込型* 複合棚段・リボイラ型* 複合充填・吹込型* 複合充填・リボイラ型*
ポンプ	遠心式 逆止弁つき 逆止弁なし 回転数制御 往復式 容積式	タンク	液タンク コーンルーフ型 密封 攪拌付き ガスタンク 常圧 密封 ポット	圧縮機/送風機	遠心式圧縮機 往復式圧縮機 送風機 (ベーン付) 真空ポンプ 真空ポンプ
		熱交換器	蒸発器 蒸気加熱 顕熱加熱 サーモサイホンリボイラ 蒸気加熱 顕熱加熱	タービン	汎用ガスタービン 蒸気タービン
配管系機器	一般配管 ムダ時間配管 漏れ配管 U字管 制限オリフィス ストレーナ 単独 前後弁付 切替付 ガスフィルター トラップ ライン内排出 放熱付き 容量付き配管		全縮器 分縮型熱交換器 蒸発-凝縮器 顕熱型熱交換器 汎用熱交換機 1流体型熱交換器 空令式熱交換器* 多流体熱交換器* 回転蓄熱式熱交換器* コイル* ジャケット*	炉	加熱炉
				反応器	汎用固定床反応器 攪拌槽型反応器*
				ボイラー機器	ボイラー-火炉* 蒸発管* ボイラドラム* 脱気器* その他*
				その他	冷水塔 (可変回転数) 圧縮機タービン接続*

*印はオプション提供のユニット

は、10000ユニットのシミュレータが扱えるように設計されている。

(3) 標準ユニットモデル

ダイナミックシミュレータでは、スタティックシミュレーションには不要な多くのユニットモデルを必要とする。タンク、安全弁、逆止弁、むだ時間を持つ配管などのほか、測定計器や制御機器がある。また、スタティックには同じモデルで表現できるものも、ユニットの動的な特性や、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モデルを必要とすることが多い。たとえばポンプや圧縮機のタイプ、各種のバ

ルブ、あるいは配管中のフィルターなどの細々とした機器がその例である。したがってダイナミックシミュレータではスタティックシミュレータに比べてかなり多種類のユニットを標準ユニットとして用意しておく必要がある。第3表と第4表に、Visual Modelerのライブラリに登録されている標準ユニットモデルの一覧を示す。

(4) ユーザーユニットモデル

このように多数の標準ユニットが用意されているにもかかわらず、標準ユニットだけでは不十分なケースはスタティックシミュレーションに比べてずっと多い。

第4表 計装ユニットモデル一覧表

一般測定器	流量計	絞り 面積式 容積式 真値流量計	DCS演算器	四則演算器 加算器 乗算器 割算器 開平方	ワンループ制御器	流量制御 PI/PID 温度制御 PI/PID 液面制御 PI/PID 圧力制御 PI/PID
	温度計	配管用 装置用		セレクター ハイ ロー シグナルセレクター		ワンループ演算器
	液面計	液密度差圧式 汎用		信号分岐 2出力 3出力 進み/遅れ器 1次遅れ 進み遅れ むだ時間 むだ時間+1次遅れ	配線関係器	
圧力計	配管用 装置用 浸水型	配管用 装置用 むだ時間補償器 m-n次伝達関数 関数発生器 正弦/三角/短形波 折れ線近似 M系列信号	高度制御器	速度型I-PD* (ローカル/リモート、 NORMAL/CASCADE) 2自由度PID* (ク) ギャップPID* (ク)		
特殊測定器	フレイムアイ 百葉箱 酸価分析計* リミットスイッチ		論理回路 AND OR NOT EOR IF MEMORY TIMER 2 of 3 回路 BYPASS回路 AUTOBYPASS回路 レンジ変換器 微分器 積分器 ランプ器			
ローカル型/リモート型制御器	位置型PID (NORMAL/CASCADE) 速度型PID (ク) バッチPID (ク) オンオフ制御 (ク) 比率制御器 (ク) 手動操作器 (ク) バッチ設定器 (ク) 2位値スイッチ (ク) 3位値スイッチ (ク)					

*印はオプション提供のユニット

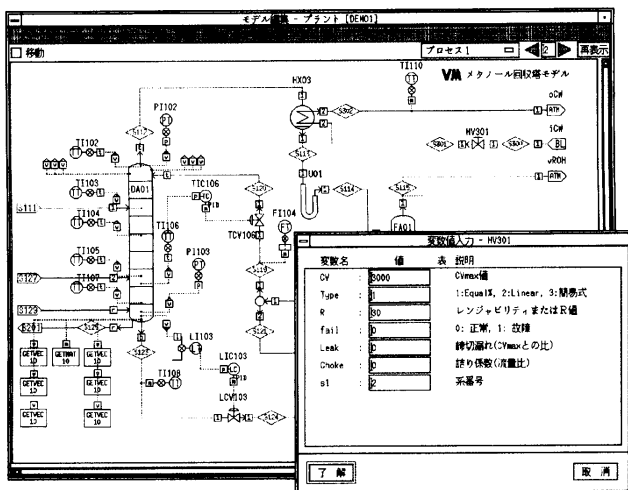
これは、動的な挙動を表現するためには装置のサイズや形状、あるいは熱容量などを考慮する必要があるため、構造上の特徴がそのままモデルの相違として現れやすいこと、起動・停止あるいは異常時など定常状態以外の運転状態まで考慮したときに装置の設計に多くのバラエティが生じること、高度な自動化を達成するために新たな制御ロジックや自動シーケンスを記述する必要性があることなどが主な原因である。したがって、ユーザー自身がユニットモデルを追加できる機能が非常に重要となる。Visual Modelerは、ユーザーが容易にユニットモデルを作成してユーザーのライブラリを構築できる仕組みを用意している。ことに、方程式記述言語であるEQUATRANによってモデルを

記述できることが大きな特長となっている。

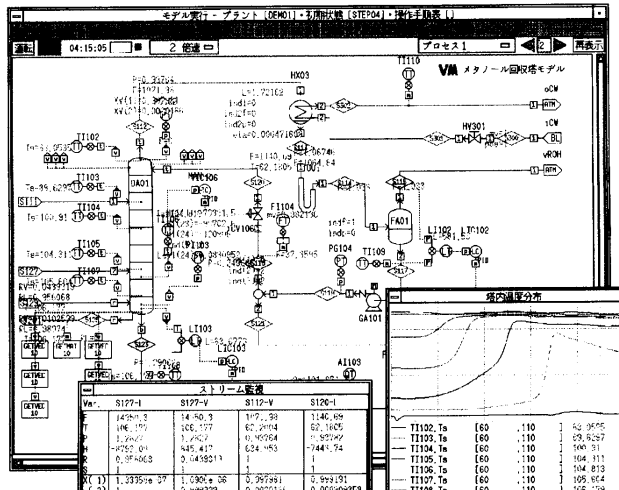
(5) 実行機能

シミュレーションは、実時間で実行可能であるとともに、秒ごとのインタラクティブな応答が可能なことが必須条件である。これは、トレーニングシミュレータのような実時間システムとして用いる場合は当然必要なことであるが、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非常に有効である。秒ごとの応答は、たとえば手動でバルブを開閉したときの応答をその後1秒ごとに画面上で確認できることであり、この間隔が長くなると著しく実感を損なう。

Visual Modelerでは、前述のような厳密なモデル



第1図 モデル編集フェーズのPFD画面



第2図 モデル実行フェーズのPFD画面

を用いた大規模なシミュレータを秒単位で計算するために、高性能なコンピュータを用いるとともに、各ユニットモデルの計算、物性の計算あるいはプラント全体の圧力・流量バランスの計算に高速化のための工夫が行われている。

(6) エンジニアリング環境

規模の大き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。Visual Modeler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テストを行い、これらをそのまま組み合わせて、全体プラントのモデルとすることができる。

スタティックシミュレータでもPFD（プロセスフロー図）画面からのモデル構築環境が一般的になっているが、ダイナミックシミュレータでは、ユニットなどのモデル要素の数が多くなるだけにグラフィックユーザーインターフェースを用いた効率のよい利用環境がさらに重要である。ユーザーはまず必要なユニットをライブラリのメニューから選択してPFD画面上に配置し、つぎにこれらの間をストリーム（配管）と信号線（計装ケーブル）で接続することでPFDを作図する。さらに、各ユニットについて固有のパラメータ（サイズや特性データなど）を与ればモデルが完成する。第1図は、Visual Modelerにおけるモデル編集画面の例である。1つのプロセスモデルは、複数のページに跨がったPFDとして作成することができる。また、第2図はモデル実行画面の例である。実行画面からは、

運転、休止などシミュレーションの実行全ての管理とともに、各ユニットのパラメータの変更が随時行える。

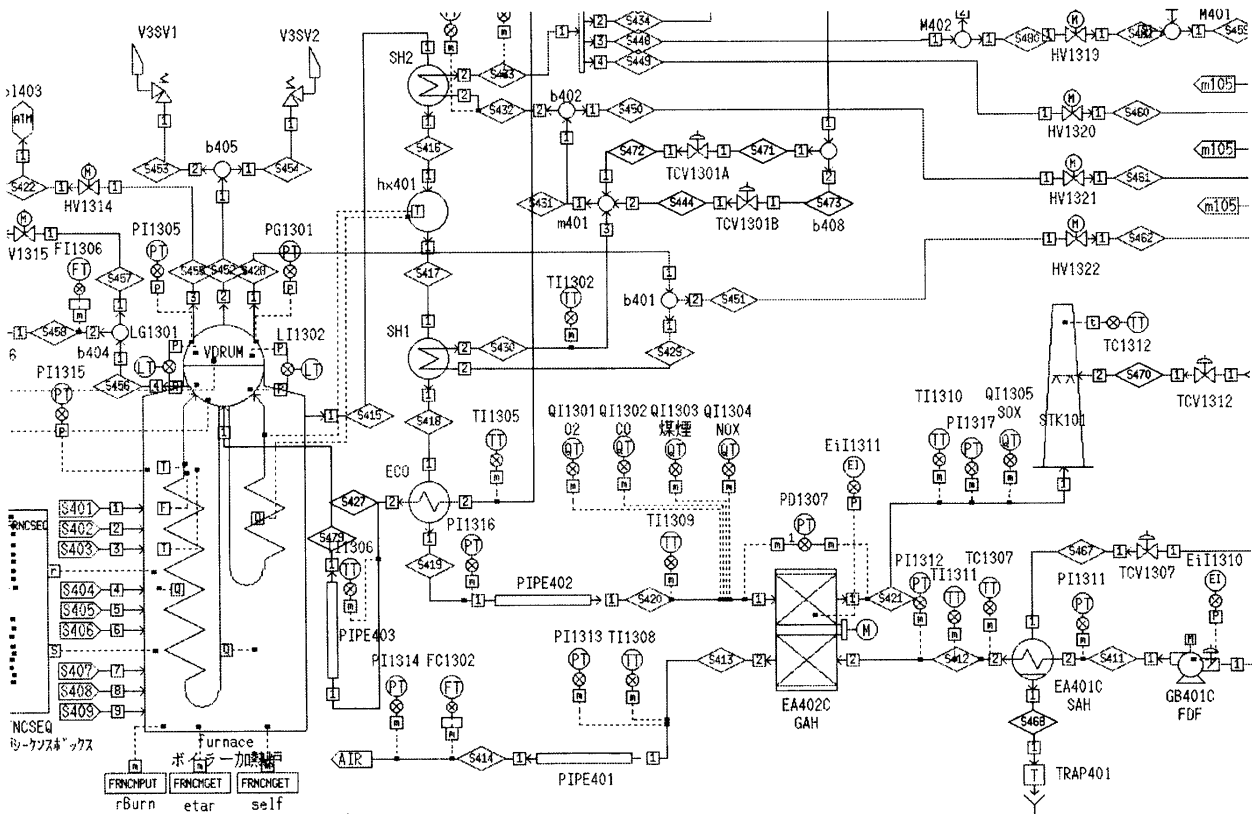
(7) 初期状態計算

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。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つく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. 応用システム

(1) 制御システムの検討への利用

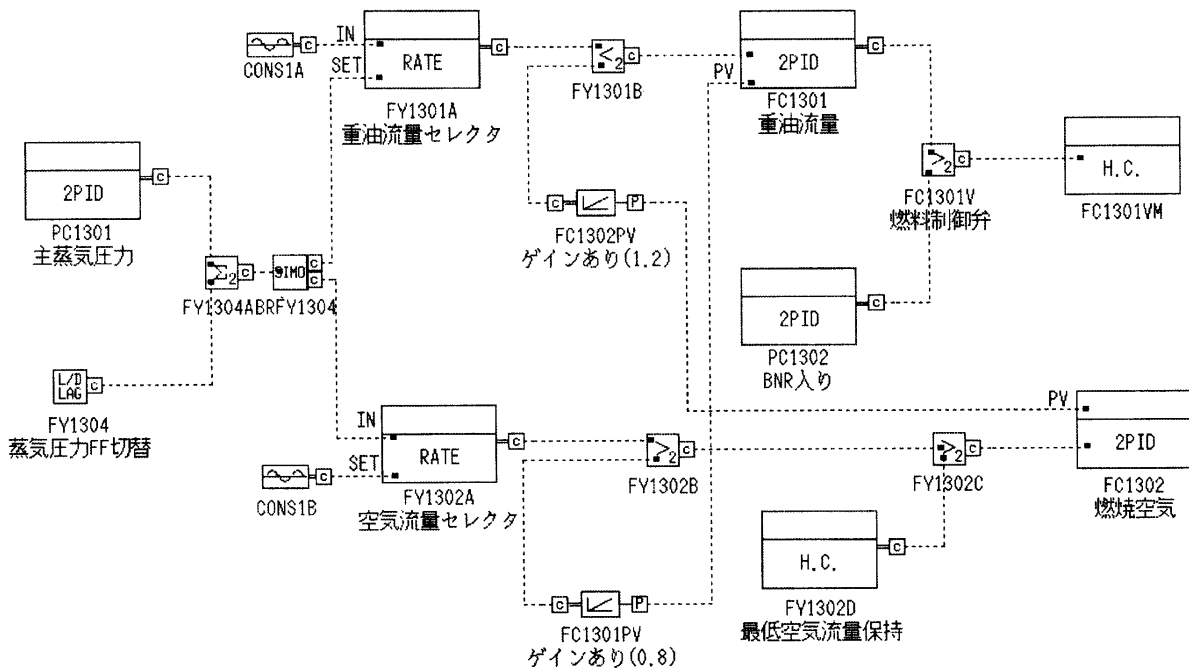
Visual Modelerを制御系の検討に適用した事例について紹介する。石油コンビナートにおけるボイラーシステムはその性格上きわめて多様な運転方法をとる必要がある。通常この種のボイラーは多段抽気タービン設備をもち、コンビナートに電力および蒸気を供



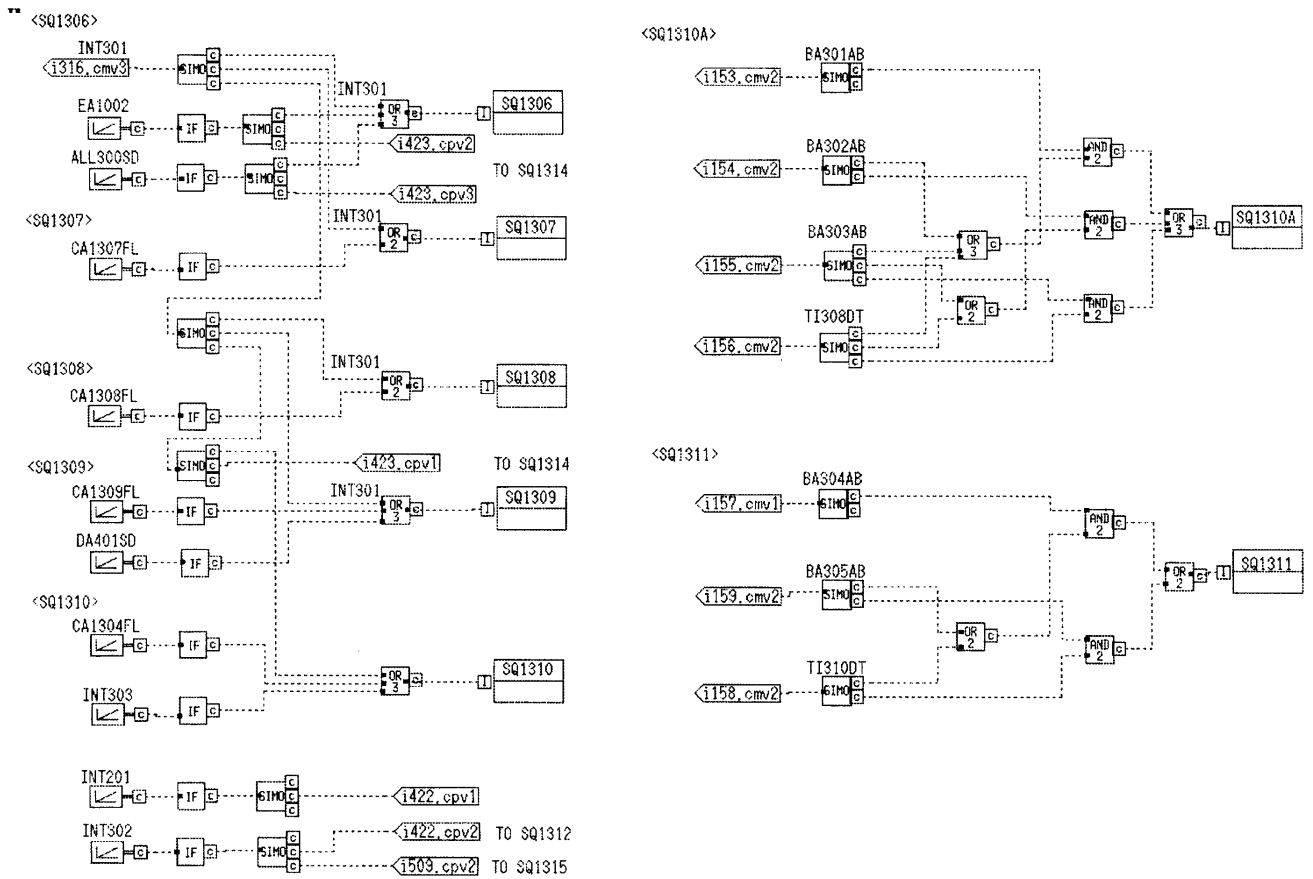
第3図 プラントモデル例

主蒸気圧力、空燃比制御

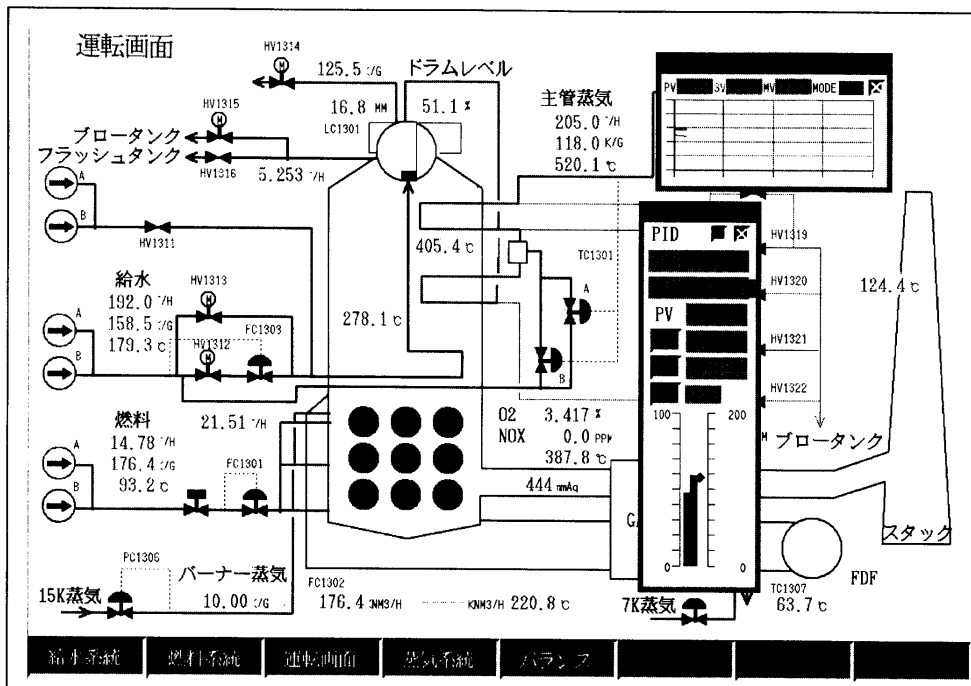
VM ボイラー標準モデル



第4図 ループ制御系モデル例



第5図 シーケンスロジック制御系モデル例



第6図 グラフィック操作画面例

給している。ここではタービンその他機器の異常やスチームバランスの変動に対してボイラーを適切に制御あるいは運転操作する必要がある。本事例では発電量の増加をはかるためにタービンを能力アップ(1.7倍)した際のループ制御系及びシーケンス制御系のロジックの変更・追加の正当性を検証するためにシミュレータを使用した。Visual Modeler上にボイラー系(給水系、燃料系を含む)・タービン系(タービン、減温減圧装置、安全弁などを含む)のプラントモデル、制御系モデルおよびシーケンス制御系モデルを構築し検討を行った。第3図にボイラー周辺のプラントモデル、第4図に主蒸気圧力制御系モデル及び第5図にシーケンス制御モデルの実現例を示してある。このようにVisual Modelerにはプラントモデルのみならず計測機器やDCSで実現する制御系の構築も容易に行える標準ユニットが用意されている。さらに第6図に示すようにVisual Modelerには運転操作のインターフェイスとしてグラフィック画面をサポートする環境VM VIEWがあるのでこれを利用して実際のDCSの操作画面を模擬することにより、プラント教育のためのシミュレータとしても利用されている。

(2) 訓練システム

Visual Modelerで作成されたモデルは高機能な訓練シミュレータPlantutorのプラントモデルとして使用される。

Plantutorのエンジニアリング環境ではVisual Modelerのモデル開発機能が全て利用でき、また作成されたモデルはPlantutorの制御下で実行され、毎秒計算結果であるプロセス値をDCSに送り、DCSの制御系出力であるバルブ開度などの操作値を受け取る。Plantutorは実機のDCSシステムを制御システムとしてそのまま使用するので、臨場感ある訓練システムを構築できるだけでなく、DCS上に構築された高度な制御系や自動操作シーケンスの開発・検証にも十分活用できるものである。

4. おわりに

新しい世代のダイナミックシミュレータの機能を中心に紹介した。本稿は、現在の最新バージョンであるVisual Modeler V1.1bを対象にしているが、今後さらに機能の強化と標準ユニットモデルの追加などが予定されている。なお、紙面の都合上説明の不足した部

分については、末記の参考文献を参照して欲しい。Visual Modelerのソフトウェアの構成については(2)、(4)、(7)、ユーザーがユニットのモデルを作成する機能については(4)、トレーニングシミュレータとしての機能・導入事例については(1)、(5)、また、シミュレータの多面的活用については(6)にそれぞれ紹介されている。

<参考文献>

- (1) 清水雅嗣、小口梧郎、計装、36、(7)、29 (1993).
- (2) 小口梧郎、化学工学、58、(3)、174 (1994).
- (3) 浜崎弘道、大村憲一、et al., ケミカルエンジニアリング、39、(10)、77 (1994).
- (4) 小口梧郎、林田豊、et al., ケミカルエンジニアリング、39、(11)、73 (1994).
- (5) 中川進二、辻村勝彦、計装、39、(7)、10 (1996).
- (6) 大村憲一、計装、39、(7)、33 (1996).
- (7) 小口梧郎、PETROTECH、NO.3、VOL.20、MAR. 1997

【筆者紹介】

大村憲一(昭和21年3月14日生・神奈川県出身)

(株)オメガシミュレーション

〒169-0051 東京都新宿区西早稲田2-20-9

TEL: 03(3208)4921 FAX: 03(3208)4911

<趣味> ゴルフ、テニス

<定期購読誌・紙> 計測と制御、システムと制御

<家族構成> 妻、男1、女2

<主なる業務歴及び資格>

三井東圧化学にてプロセス解析、プロセス制御に関する業務に従事。最近に数式モデル、シミュレーション技術のオンラインシステムへの展開に注力している。

株式会社オメガシミュレーション

<代表者名> 三浦真太郎

<本社住所> 〒169-0051 東京都新宿区西早稲田2-20-9

TEL: 03(3208)4921

FAX: 03(3208)4911

<資本金> 50(百万/円)

<年商> 40,000(万/円) <従業員数> 19名

<主要取引先>

横河電機、三井化学、旭化成、住友化学、宇部興産

<事業内容及び会社近況>

トレーニングシミュレータシステムの販売、海外展開に注力している。