

Plantutor

プラントモデル構築ツール Visual Modeler

小 口 梧 郎*
林 田 豊**
蓑 島 広 泰***
幸 松 敏****
片 桐 伸 一*****

1. はじめに

この連載では、プラント運転員の訓練用として横河電機(株)と三井東圧化学(株)とで共同開発したトレーニングシミュレータ「Plantutor」を紹介している。今回は、トレーニングシステム全体について機能と構成の概要を述べた。

今回は引き続き、Plantutorのプラントモデル部を構成するダイナミックシミュレータについて解説する。言うまでもなく、プラントモデルはトレーニングシミュレータの中心的部分であるが、特にPlantutorの目指す高性能で、かつ開発の容易なシミュレータを実現するためにはプラントモデル部の役割は重要である。

Plantutorのプラントモデルは、Visual Modeler(ビジュアルモデラー)を使って作成する。Visual ModelerはPlantutorのためのプラントモデル構築ツールであると同時に汎用のプラントダイナミックシミュレータとして独立した製品でもある。しかしこれは単に、既製の汎用シミュレータをツールとして採用したということではない。Plantutorの開発にあたってのプラントモデル部に対する要請、すなわち、

①プラントの操作方法だけでなく、プロセス自

体の理解を深める教育の可能な詳細な物理モデルを採用すること。

②カスタムモデルの開発、ユーザーによるモデルの変更が容易に行えること。

③大規模なモデルを高速に実行可能なこと。

を同時に満たすには、従来型のトレーニングシミュレータ専用のシステムでは困難であり、高性能なダイナミックシミュレータを新たに開発する必要があったのである。

本稿ではモデル部の機能と構成について紙面の許す限り詳細に解説を試みることとし、したがって、実際の使用例の紹介は次回以降に譲らせていただく。

2. 機能の概要と特長

プラントモデルを組み立てる段階をモデル編集フェーズ、そのモデルを実行する段階をモデル実行フェーズと呼ぶ。

編集フェーズには、

- ・標準ユニットモデルライブラリ
- ・標準物性計算ルーチンと物性定数ライブラリ
- ・プラントモデルの組み立て機能
- ・装置パラメータの設定機能
- ・新しいユーザーユニットの登録機能
- ・実行プログラムの生成機能

実行フェーズには、

- ・実行制御機能
- ・装置パラメータなどの変更機能

* Goro Oguchi 三井東圧化学(株) システム部主席部員
** Yutaka Hayashida 同上 システム部主査
*** Hiroyasu Minoshima 同上 システム部主務
**** Satoshi Koumatsu 同上 千葉工業所技術部
***** Shinichi Katagiri (株)トパックス

- ・プラント状態の監視機能
- ・入出力機能
- ・初期状態保存と復帰機能

がそれぞれ含まれ、さらに共通のものとして、

- ・PFDユーザーインタフェース

が用意されている。

以下、Visual Modelerの代表的な特長について述べる。

(1)モジュールアプローチによるモデル組み立て

Visual Modelerは、いわゆるモジュール型のシミュレータであり、プラント内の個々の装置(バルブ、ポンプ、塔、槽など)をユニットモデルと呼ぶモジュールとして用意しておき、これを組み合わせて全体のモデルを組み立てる。プラント全体のモデルをプラントモデルと呼ぶが、規模が大きい場合には、これを複数のプロセスモデルに分割して独立に開発・テストすることができる。このモジュールアプローチにより大規模なシミュレータを能率よく開発できる。1つのプロセスモデルは最大800ユニットを、プラントモデルは最大10のプロセスモデルを含むことができる。

(2)ユニットモデル作成機能

Visual Modelerには、後述のように多数のユニットモデルが標準ライブラリとして装備されており、一般的なプラントではほとんどの装置をカバーしている。しかし、カスタムシミュレータの開発では、そのプラントに固有な装置や特別な異常現象を表現したいなど、新しいユニットモデルが必要になる場合が少なくない。このため、ユーザーが自ら新しいユニットモデルを作成し、ユーザーライブラリとして追加登録することを可能にしている。

ユニットモデルはC言語で作成することができるが、方程式記述言語であるEQUATRANを用いれば、モデル式を書き並べることによって簡単に作成できる。前述のように、モジュールアプローチの採用により各ユニットは周辺のユニットとは全く独立に開発することができる。

各ユニットモデルは、さらにプロシージャと呼ばれる複数のモジュールに分割して構成することができる。プロシージャは計算実行の単位であり、これによって同じユニット内でプラントの状況に応じて数式モデルを入替えたり、手続き型のモデ

ルとEQUATRANで書かれた方程式型のモデルとの組み合わせが可能になっている。

(3)圧流バランス計算

一般にモジュール型のダイナミックシミュレータでは、モデルの構築が容易な反面、個々のユニットモデルを独立に計算するため、ユニット間の流れについて圧力と流量のバランスが取りにくいという問題が生じる。すなわち、バルブやポンプなど流体のホールドアップが実質的に変化しないユニットを複数含む配管ネットワークにおいては、各ユニットの圧力(差圧)と流量との関係式を連立して解く必要があるが、モジュール型ではこの連立した計算がやりにくい。強いて実現しようすると、ネットワーク内の各ユニットモジュールを繰り返し呼び出して収束計算を行うことが必要になり、これを各時間さざみ毎に行うのは高速性を著しく損なわざるを得ない。

Visual Modelerでは、この問題を解決するために、ユニットモジュールの計算とは別につぎのような計算機構を用意している。

- ①各ユニットから圧力(差圧)と流量の関係だけを1次式または2次式の形で抽出する。
- ②ネットワークの構成に従って①の式を連立方程式に組み立てる。
- ③連立方程式を解いて圧力と流量を決定する。

この圧流バランス計算機構の組み込みにより、単にユニットを接続するだけでプロセスのモデルを完成させることができるとともに、高速な実行を可能にしている²⁾。

(4)テスト・チューニング環境

Visual Modelerでは、独立したワークステーションの環境でもプラントモデルを実行できるので、経済的で効率のよい開発が可能である。PlantutorはDCS直結型のトレーニングシミュレータであるため、制御機能はDCSをそのまま用いるが、独立した環境では制御機器を含むモデルを用いてシミュレーションを実行する。この場合、制御機器だけをまとめて1つのプロセスモデルとして構成しておけば、後でこの部分を取り去ることによって、プラント部分のモデルに手を加えることなしにそのまま本番に移行できる。独立した環境でもステップバックやタイムスケールの変更など、Plantutorの機能をそのまま実行できるほ

か、ファイルを経由して計算結果や実測データなどの時系列データを読み書きする仕組みがあり、モデルのチューニングに利用することができる。

(5)ビジュアルなインタフェース

Visual Modelerでは、プラントモデルの組み立てからシミュレーションの実行までをプロセスフロー図(PFD)の画面上で一貫して行うことができる。図1はモデル編集フェーズのPFD画面の例を示す。モデル編集フェーズではマウスの操作によってPFD上にユニット図形を配置して、これらをストリームと信号線で接続する。PFDが完成した時点でモデルが自動的に生成されている。

モデル実行フェーズでは、PFD画面上の操作によってシミュレーションの進行を管理するとともに、刻々の状態をグラフと数値によって監視しながらパラメータの調整やケーススタディが自由に行える。図2はモデル実行フェーズのPFD画面の例である。Plantutorに組み込んで実行する場合には、進行の管理はPlantutorの制御に移るが、監視とパラメータの変更は同じPFDから行うことができる。

3. ソフトウェアの構成

Visual Modelerの構成と情報の流れの概略を図3に示す。編集フェーズではPFDインタフェー

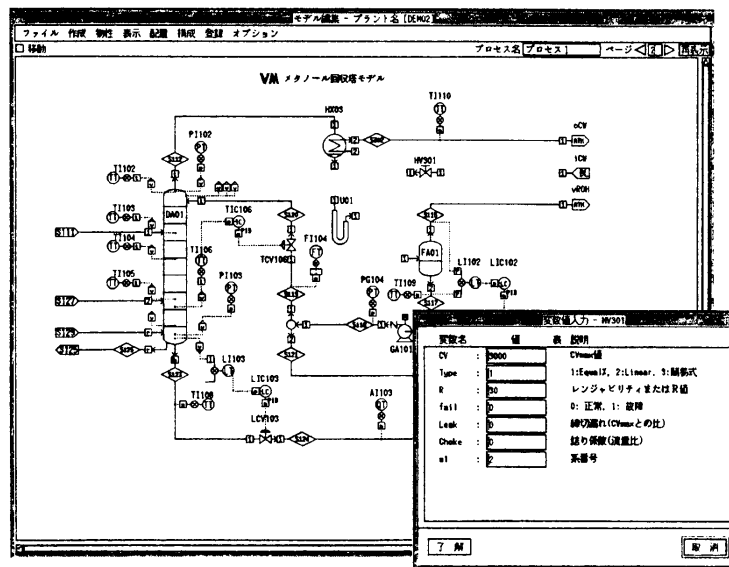


図1 モデル編集フェーズのPFD画面

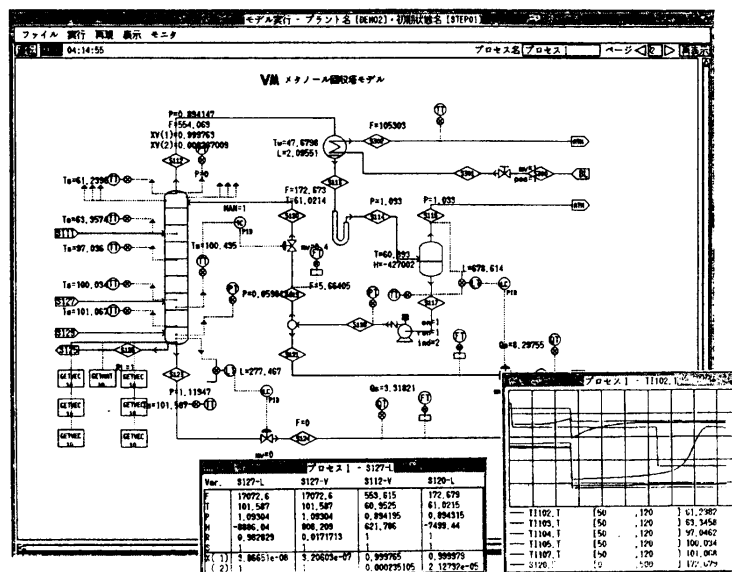


図2 モデル実行フェーズのPFD画面

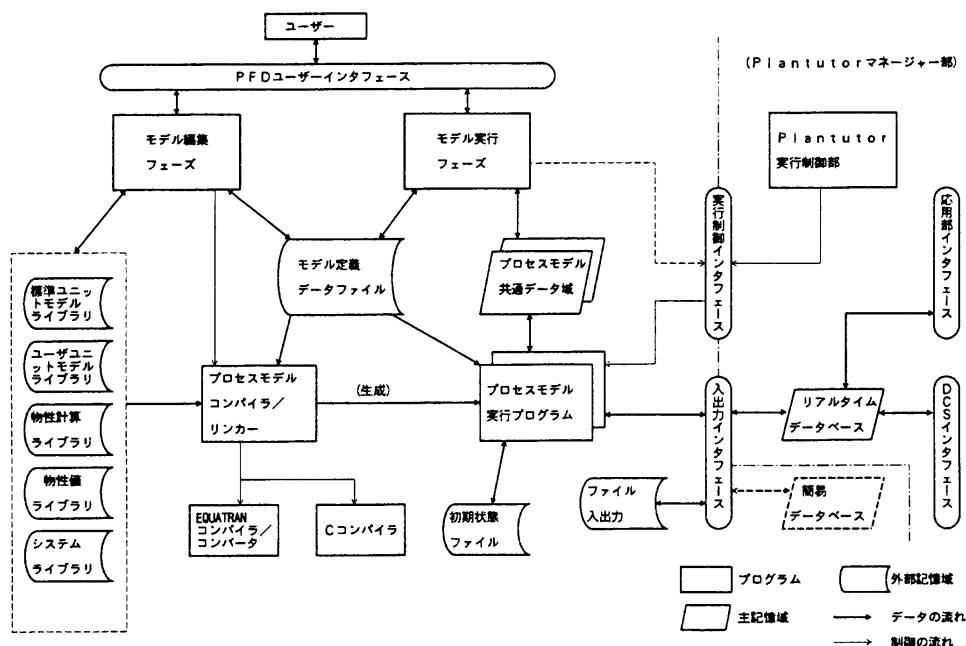


図3 Visual Modelerの構成と情報の流れ

スからの指示に従って、ユニットライブラリ、物性計算ライブラリおよびシステムライブラリを組み合わせて、各プロセスモデルの実行プログラムを生成する。この際同時にモデルの構成やPFD図面の定義、モデルパラメータなどプラントモデルに関する全ての情報を含むモデル定義データファイルを同時に生成する。このファイルには実行フェーズで変更・追加された内容も反映されるので、2つのフェーズを交互に移行しながら能率の良い開発が可能である。

ライブラリ内の各ユニットモデルはその一部分（あるいは全体）がソースプログラムの形で作られており、プロセスモデルに組み込まれる際に、必要な情報を付加されてコンパイルされる。EQUATRANで書かれたモデルは、EQUATRANコンバータでCのプログラムに変換することによって高速化が図られている。

実行フェーズでは、モデル実行プログラムとの間で共通データ域と呼ぶメモリ領域を通じてモデル変数の状態とパラメータとをやり取りする。共通データ域はユニットモデルの間でデータを共有する仕組みでもある。このデータ領域には、各プロセスモデルの現在の状態を表す全ての情報が含まれており、これを保存しておけばいつでもその状態に戻ってシミュレーションを再開することができる。

モデル実行プログラムには、起動や停止などの実行制御のための制御インターフェースと、プロセス入出力やフィールド操作のためのデータインターフェースがあり、Plantutorのモデル部として実行される場合はこのインターフェースが利用される。図中のマネージャ部のリアルタイムデータベースは測定値や操作値などいわゆるタグデータをDCSなど他のサブシステムと共有する仕組みであるが、プラントモデル内の異なるプロセスモデル間のデータのやり取りもここを経由して実現される。右下の簡易データベースは、モデル部を独立に実行する場合にリアルタイムデータベースの役割を果たす。

4. 標準ユニットモデル

ユニットの中で頻繁に使われる汎用的なものは標準ユニットモデルとしてVisual Modelerに組み込まれている。標準ユニットモデルは物質収支、熱収支をもとに各機器の機能をモデル化した詳細な物理モデルである。また、各機器の予想される故障現象についても故障パラメータを設定するなどにより表現できる。

標準ユニットはA. プロセスユニット群とB. 計装ユニット群に大分類され、モデル編集フェーズで図4のように階層的なグラフィカルなメニュー画面で選択できる。表1に標準ユニット一覧を示

チームトラップもこの分類に含まれている。

(4) 混合・分岐

混合点や分岐点はプラントの中ではその存在は目立たないが、モデル上は重要である。お互いに接続した多数の配管の接点をモデル化する上で混合か分岐なのかは、流れの方向がハッキリしないと決まらない。このモデルでは、まず流れの方向を判断して混合計算や分流計算をする。多数の気相タンクを結合する場合など気相の圧力を均圧にする均圧ヘッダーもこの分類に含まれる。

(5) 系 外

系外からの流入点および流出点のモデルで、流入するプロセス流体の組成、圧力、温度、流量を設定できる。

(6) タンク

液やガスを溜めるための容器のモデルであり、液タンク、ガスタンクがある。

(7) 相分離器

気液相を分離するフラッシュドラム類、液液相を分離するデカンタ類がある。

①フラッシュドラムには、水系のフラッシュドラムや単に気相と液相を分離し排出する気液平衡モデル、気液相間の物質移動を考慮した非平衡モデルがある。

②デカンタは、オーバーフローと下相セパレータノズルが設置されており、液液平衡状態を計算して密度から上下相または混相の状態、ノズル位置から排出液相を決定している。

(8) 熱交換器

熱交換器はその機能から分類して、顕熱型、全縮器、分縮型、蒸発器に大別される。多管式の他にジャケットやコイルも用意されている。

①顕熱型は高温低温それぞれが顕熱による熱交換の汎用モデルである。また、ユニットの計算は高温側・低温側・伝熱壁の3つの部分に分割され、また流れ方向に任意の数に分割し詳細度を増すことができる。伝熱係数は流量の一定乗数倍に比例するようにモデル化されている。これらの方法は他の熱交のユニットでも使用されている。

②全縮器は高温側が全凝縮し、場合によりサブクールするモデルである。伝熱面積は凝縮液のレベルの上昇により低下する。故障機能として

は、高温側と低温側間の漏れや伝熱能力の低下、圧力損失の増加などがある。

③蒸発器のモデルとしては汎用の蒸発器と縦型サーモサイフォンリボイラがある。サーモサイフォンリボイラでは蒸留塔との熱対流による循環を計算できる。循環状態では伝熱管に沿って顕熱加熱帯と蒸発帯に区分され、循環の無い状態では蒸発だけが生じる。低温側は静的圧損失と摩擦、加速損失の和が入出の圧力差となるように循環量が計算される。

④分縮器は、顕熱ゾーンと部分凝縮ゾーンに分割され計算される。本モデルは全縮、サブクール状態から分縮状態までの幅広い範囲で計算することができる。故障機能としては、流体間の漏れや伝熱能力の低下が設定されている。

⑤ジャケットおよびコイルでは潜熱型と顕熱型をそれぞれ用意している。

(9) 塔 類

蒸留塔、吸収塔、放散塔などの塔のモデルとしては、その形式の違いから吹き込み型とリボイラ型および棚段形式と充填形式に分類される。また、通常理論段モデルの他に計算の高速化のために包括段モデルもある。蒸留塔モデルの構造はフレキシブルであり、フィードとサイドカットは任意の段に設置することができる。液液流量は液ヘッドと差圧から、差圧は蒸気流量から棚段や充填物の特性を考慮し計算される。

①汎用棚段塔は理論段を仮定したモデルであり、棚段蒸留塔として汎用的なモデルである。各段の液ホールドアップ、熱ホールドアップ、組成、温度、圧力などが物質収支、熱収支および気液平衡から逐次段計算される。通常この計算はスティフになりやすいが、Semi-Implicit法に基づいた積分手法を採用することにより安定で高速な計算を可能とした。また、棚段の特性はガスの流れによる圧力損失係数と液のいつ流部ヘッドによる流出係数で表している。

②充填塔は理論段ベースのモデルであるが、液ホールドアップがほとんど無いような状態など幅広い運転範囲での計算が可能である。充填物の特性は液ホールドアップと液流量の関係とガス流量と圧損の関係として各係数を任意に与えられる。

③包括棚段塔と包括充填塔は精留塔のように理論段の多い塔において、計算負荷を低減する目的で作られたモデルである。このモデルでは、塔内を任意のブロックに分割し各ブロックに含まれる理論段に基づいて包括的な気液平衡係数を算出する。このことにより各ブロックを計算上は1段相当として扱うことができるので計算量は大幅に削減できる。

(10) 圧縮器・送風機

遠心圧縮機では性能曲線を折れ線データとしてあたえ、往復式圧縮機ではポリトロプ効率を設定する。

(11) タービン

ガスタービンあるいはエキスパンダの簡易モデルであり、熱バランスから出力を計算する汎用モデルである。

B. 計装ユニット

計測ユニットは測定器、制御器、演算器に大別される。

(1) 計測器

計測器には真値を出力するほか、密度、温度による測定誤差を含んだ測定値や遅れ要素をもつ測定値を出力する。また、故障時の出力なども設定できる。

(2) 制御器

制御器にはアナログ式PIDコントローラのモデルが用意されている。

(3) 演算器

演算器には加算器や関数発生器、論理回路などの機能ユニットが用意してある。

5. ユーザユニットの作成

一般的なプラントの大多数のユニットは、標準ユニットモデルを使用すれば十分である。しかし、化学プラントでは例えば反応器などは扱う物質により特化したものになりやすく、その際標準モデルでは不都合が生じることは避けられない。そのような場合、ユーザーが独自にCまたはEQUAT RANでユニットモデルを作成することができる。ここでは、図5に示すフラッシュドラムをモデル化した簡易フラッシュユニットを例に、ユーザーユニット作成の概要を説明する。

図6が簡易フラッシュのユニットモデルを記述

したものでこれをユニットブロックと呼ぶ。ユニットブロックは、シンボル定義部とモデル定義部から構成されているが、この他にユーザーの入力データをチェックするためのチェック部を設けることができる。以下、図6に沿って説明する。

(1)シンボル定義部

他のユニットから参照する変数や装置パラメータとなる変数などはシンボル定義部に記述する。ここで定義されたモデル変数は共通変数域にその実体で作られる。REALは時系列変数、INTは整数をCOMPは成分系の配列変数を定義し、また装置定数など固定的な変数にはSTATIC宣言を加える。FEED、PRODはユニットとストリームを接続するノズルを定義している。また、SYSTEMではユニットで使用する系(後述)を定義している。なお、PARAMETERは生成パラメータと呼ばれ、ユニットモデルプログラムの生成に必要な配列の大きさなどの定数を定義するものである。

(2)モデル定義部

モデル定義部には複数のプロシージャを定義することができる。この例では、初期化のためのプロシージャ(INITプロシージャ)と通常運転と空液時のモデル計算をするプロシージャ(EXECプロシージャ)の2つが定義されている。この他に例えば満液時の処理プロシージャなどを付け加えることなどができる。

①INITプロシージャ

起動時にユニット内の初期状態を設定する。成分ホールドアップおよび温度、圧力から組成とエンタルピー、熱ホールドアップ初期値を算出しモデル変数にセットしている。また、標準物性計算ルーチンPHYCLHLQによりエンタルピー計算を行っている。

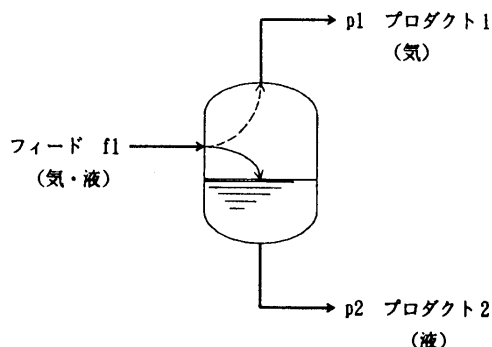


図5 簡易フラッシュユニット

```

/* 簡易フラッシュタンク (EQUATRAIN記述) */
/* flasha.blk 三井東圧化学(株) */

/* <<< シンボル定義部 >>> */
PARAMETER SYS;
COMP u=" *モルホールドアップ[kgmol]*";
REAL H *熱ホールドアップ[kcal]*;
L *液面[m]*;
P *圧力[Kg/cm2A]*;
T=25 *温度[C]*;
WD *液体積[m3]*;
STATIC REAL VD=" *総体積[m3]*";
SD=" *断面積[m2]*";
Lmin=" *液排出下限高さ[m]*";

FEED f1;
PROD p1,p2;
SYSTEM s1=SYS; /* 成分系 */

/* <<< モデル定義部 >>> */
MODEL
PROC INIT EQUATRAIN( /* 初期状態の計算 */
include eqphysic.eqs
VAR u(_NCSYSA), x(_NCSYSA)
INPUT s1,
u USING s1,
T,
P FROM p1.P
OUTPUT H

x = u/U; U = SUM( u )
PHYCLHLQ( s1, T, P, x, h1 )
H = h1*U
);
PROC EXEC EQUATRAIN( /* 通常運転時及び空液時の処理 */
include eqphysic.eqs
include equit2.eqs
VAR u(_NCSYSA) *モルホールドアップ[kgmol]*,..
x1(_NCSYSA) *液相モル組成 [-]*, ..
x1f(_NCSYSA) *フィード液相モル組成[-]*, ..
xvf(_NCSYSA) *フィード気相モル組成[-]*

INPUT s1, SD, VD, Lmin,
f FROM f1.F,
rlf FROM f1.RL,
rvf FROM f1.RV,
x1f FROM f1.XL USING s1,
xvf FROM f1.XV USING s1,
h1f FROM f1.HL,
hvf FROM f1.HV,
P FROM p1.P,
fp2 FROM p2.F
INITIAL u USING s1, H
OUTPUT L, H, T, P, WD,
u USING s1,
fpl TO p1.F,
T TO p1.T,
xvf TO p1.XV USING s1,
hvf TO p1.HV,
rvpl TO p1.RV,
T TO p2.T,
Pb TO p2.P,
x1 TO p2.XL USING s1,
h1 TO p2.HL,
rlp2 TO p2.RL,
P TO f1.P

u' = f*x1f*rlf - fp2*x1*rlp2
H' = f*h1f*rlf - fp2*h1*rlp2
x1 = u/U; U = SUM( u )
h1 = H/U
PHYTCL ( s1, P, h1, x1, T )
PHYCLDLQ( s1, T, P, x1, d )
PHYCLMW ( s1, x1, mw )
dw = d*mw
WD = U/d
L = WD/SD
Pb = L*dw*0.0001+P
fpl = f*rvf
rvpl = 1
rlp2 = 1 ..
= 0 WHEN L < Lmin /* 空液時 */

);

```

図6 簡易フラッシュユニットのモデル作成例

②EXECプロシージャ

通常運転時および空液時の状態を計算する。この簡易フラッシュモデルでは、液相のホールド

アップは考慮するが気相のホールドアップは無視している。気相はフィードに含まれる気相分がそのまま排出され、フィード中の液相分と排出量の差が蓄積するモデルとなっている。

始めの部分の2つのinclude文では標準物性ルーチンの定義および積分計算部の組み込みを指定している。

INPUT, OUTPUT文は通常のEQUATRAINではデータの読み込みと計算結果の出力を設定する文であるが、Visual Modelerでは共通データ域のモデル変数を入出力するための文になる。例えば、

INPUT f FROM f1. F

は変数fにフィードノズルf1に接続されたストリームの流量を読み込むことの指定である。

モデル計算の部分は通常のEQUATRAINと同じように、方程式と関数呼出しを任意の順序で書き並べればよい。物質収支から液ホールドアップ変化を求める式、熱収支から熱ホールドアップ変化を求める式および液相組成、エンタルピー、液面高さ、液底圧力を求める式が記述されている。最後のプロダクトの液相率rlp2の計算では、ドラムが空になった時に0をセットすることにより、空液の状態を後続のユニットモデルに伝えている。

6. 物性計算と物性ライブラリ

Visual Modelerには、ユニットやストリームにおける気液平衡関係やエンタルピーなどの物性計算を行う物性計算パッケージとこれに必要な物質データを提供するための標準的な物質の物性定数ライブラリが内蔵されている。また、物性計算を効率的に行うための仕組みとして「系」が定義できる。

(1)系

プロセス全体に定義された物質成分から選択した成分のリスト(部分成分系)と、それに対応する物性計算法とのセットを系と呼び、1つのプロセスモデルの中で複数定義することができる。ユニットやストリームでこれらの系を使い分けることにより、効率的でかつ精度の高い計算法を適用することができる。また、プロセスの状態が変化した時に、系を切り替えて計算するモデルを作ることでもあるようになっている。

表2 物性計算法

物 性	計 算 法
気液平衡係数	(1) 理想溶液 (Raoult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) 蒸気表の近似式 (水単成分系) (5) ユーザー関数
液液平衡係数	(1) NRTL式 (2) ユーザー関数
エンタルピ	(1) 温度の2次式 (気体、液体) (2) 蒸気表の近似式 (水単成分系) (3) ユーザー関数
気体密度	(1) 理想気体 (2) 蒸気表の近似式 (水単成分系) (3) ユーザー関数
液体密度	(1) 多項式 (2) 多項式 (水単成分系) (3) ユーザー関数
粘度	(1) 多項式 (2) 多項式 (水単成分系) (3) ユーザー関数

(2)物性計算

気液平衡、液液平衡、エンタルピ、密度、粘度の物性計算には、表2に示すような各種の物性計算法が準備されている。計算手法によっては入力データを必要とするものがあり、系を定義する時に入力する。計算法としてユーザー関数を選択すると、CまたはFORTRANで記述したユーザーの物性計算法を組み込むことができる。また、表の物性計算の他に、ユーザーユニットから参照できる各種の物性関数ライブラリ(フラッシュ計算、蒸気圧計算、エンタルピから温度の計算など)が準備されており、ユーザーユニット作成が容易になっている。

(3)物性定数ライブラリ

物性定数ライブラリはモデルで使用する物質の物性データを提供するもので、現在は約200成分の化学物質が登録してある。物性の種類としては分子量やモル分子容などの物性値と、蒸気圧・エンタルピ・密度・粘度の温度に対する近似式係数が含まれており、物質を選択するだけで標準的な計算手法のためのデータがセットされる。なお、このライブラリにはユーザーが自由に成分の追加ができるようになっている。

7. ま と め

従来、プラントのダイナミックシミュレーションには2つの流れがあったといえる。1つはトレーニングシミュレータであり、もう1つは解析用のシミュレーションである。前者は運転者、それも比較的初歩的な運転者が利用者であり、モデルとしては対象とするプラントの範囲は大きいものの表面的な現象を表すだけのやや単純化されたものであった。一方、後者はエンジニアが利用者であり、モデルとしては厳密な物理モデルを用いるが規模としては主要な装置とその周辺程度の比較的小規模のものであり、またその実行形態はバッチ処理で充分であった。現在、この2つの流れが同じ方向に向かいつつある。トレーニングシミュレータの側からは、より現実のプラントに忠実なカスタムシミュレータと、操作方法に加えてプロセス自体への理解を深めるさらに高度な運転者教育への要請から、物理モデルに基づくモデルの精密化が行われつつある。一方、解析用のシミュレーションも、単一装置の運転や制御の検討から運転支援システムや、高度制御システム開発のツールとしてより広範囲なプラントの挙動を対象とするとともに、実時間ベースで実行可能なシミュレータを必要としつつある。このような大規模でかつより精密な実時間シミュレータは、近年のコンピュータ能力の飛躍的な発展と、グラフィックユーザーインタフェースなど、モデルの開発を容易にするソフトウェア技術の発展を背景に可能になったといえよう。ここで紹介したVisual Modelerは、このような新しいダイナミックシミュレータへの要請を十分満たすものと確信している。

参考文献

- 1) 清水雅嗣, 小口梧郎: モデリングを容易にした高機能シミュレータの特徴と使い方, 計装, 36, No. 7, 29-34 (1993)
- 2) 小口梧郎: ダイナミックシミュレータの構成法, 化学工学, 58, No. 3, 174-178 (1994)
- 3) 浜崎広道ほか: プラント運転訓練シミュレータ「Plantutor」, ケミカルエンジニアリング, 39, No. 10, 77-83 (1994)