

プロセス向けモデリング & シミュレーション

Process Modeling & Simulation

三 浦 真太郎*1
MIURA Shintarou

プラントオペレーションの進化には省資源、安全性、環境への配慮等が必要である。これらを実現する環境としてプラットフォームが安価に利用可能になってきた。しかし、これらの技術やコンピュータを利用してシステムを実現する仕組み、プロセス技術者・計装技術者を支援するツール、あるいはプラントオペレーションを支援する環境は必ずしもまだ十分ではない。本稿では、これからの技術の基盤となるプラントのモデリング & シミュレーション技術を取上げた。特に、ダイナミックシミュレーション技術を使ったVMVIEWについては事例を交えて解説する。

Energy saving, safety and environmental integrity are the key factors for the evolution of plant operations. Fortunately, computer platforms are available at a low cost, and they can be used to satisfy those requirements. However, at present, the strategies to realize the systems in which the technologies and computer platforms are utilized, the support tools for process and control engineers and the environment to support plant operations are not enough to achieve them. This article introduces the plant modeling and simulation technology for the basis of future technologies. It also shows the actual examples with VMVIEW that dynamic simulation technology is utilized.

1. はじめに

今や、シミュレーション技術はあらゆる分野で実用化されている。特に、コンピュータグラフィックスの進歩に連繋し、映像の世界で最も活用されている。それは仮想現実としてシミュレーション技術の表現形が映像の要求にマッチしているためである。映画ジュラシックパークの恐竜やテレビにおける秦の始皇帝廟俯瞰図等は、参考となる情報を駆逐してシミュレーション技術により、未知の世界を現実の世界に投影している。

一方、プラントにおけるシミュレーションは現実プラントが存在するかまたは、将来プラントが建設されるという状況が多く、シミュレーションの対象が現実存在する場合が多い。それでは何の目的でシミュレーションが要求されるかとなると、実プラントは安定運転を目的に稼働されていて、実プラントを使用した運転や制御動作の確認は、実運転に対する外乱となり、確認作業のために割込むことは難しい。どうしてもシミュレーション環境に期待がかかることになる。比較対象が身近に存在する為に、シミュレーションの構築は易しいように見えるが逆に手本があるため、ごまかしが出来ない問題を

はらんでいる。シミュレーションは使用する目的によって、どこまで忠実に再現させるかに分かれるが、とすると歯止めがなくなる可能性が存在する。

2. 要素技術

2.1 モデリング技術

プラントにおけるモデリングは目的に応じた数学的モデルにより表現するものである。図1はモデルの種類に対して規模、線形/非線形、必要な知識で分類したものである。『伝達関数モデルは、簡便なモデルとして応答試験や、定常状態値まわりで使用されている。状態方程式モデルは、操業データ解析に使われ非線形表現が可能。しかしパラメータを同定するのが難しい。回帰式モデル

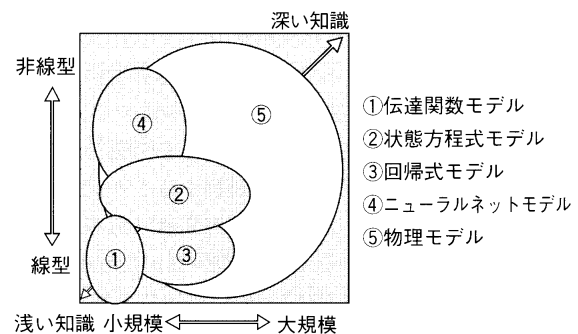


図1 モデリング技術

*1 株式会社オメガシミュレーション

は、制御・操業データ解析に利用され、入出力モデル構造の選択が可能。ニューラルネットモデルは、制御・操業データ解析に利用され非線形表現が可能。但しモデル構造の理解をする事が難しい。最後に物理モデルは物質収支、熱収支、気液平衡、反応状況を理論式で作られ、幅広い領域で利用が可能となる特長を持つ。

2.2 シミュレーション技術

シミュレーションは静的なスタティックシミュレーションと動的なダイナミックシミュレーションに大別される。二つのシミュレーション技術を比較すると、スタティックシミュレーションは、状態が定常にあるものとし、記述は代数方程式により $f(x,a,u)=0$ で一般式として表現される。利用される分野はプラント設計・解析が中心。

ダイナミックシミュレーションは、状態が非定常であるものとし、記述は微分方程式により $dx/dt=f(x,a,u)$ で一般式として表現される。利用が期待されるのはプラント運転を中心とした、プラント操作・制御の設計・解析や運転訓練の分野である。

ソフトウェアツールとなったスタティックシミュレータは、プラントを設計する段階でプラントの全体バランスと各装置の仕様確定にごく一般的に利用され、その必要とされる機能も定着している。一方、既存のダイナミックシミュレータは、プラント運転の段階で部分的に利用されてきたものの、機能はまちまちであり標準として参照できるものは無かった。新時代のダイナミックシミュレータに求められる機能を整理し、実現化したのが Visual Modeler*2 である。

2.3 要素技術を支える製品群

プラントを適切に、そしてまた最適に運転する上で、今後ダイナミックシミュレーション技術がますます重要な役割を果すものと考えられる。ダイナミックシミュレータがプラント運転のなかの中のどの様な分野で利用されるかについて、プラントとの密着度を基準に整理してみると、オフライン利用、疑似オンライン利用とオンライン利用に定義できる。オフラインの利用分野であるプロセス設計・解析では方程式解法ソフト EQUATRAN-G*3 および Visual Modeler を用意している。疑似オンラインの利用分野である教育／訓練・制御システムの開発では DCS 装置の接続性、保守性を考慮して開発された運転訓練シミュレータ Plantutor*4 が該当する。今後ますます利用が期待されるオンラインの利用分野であるプラント運転の高度化・運転支援・最適化では、Visual Modeler に柔軟性のあるユーザインタフェースを組合せた VMVIEW が該当する。

3. VMVIEWの機能

VMVIEWの構成は、Visual Modelerを使用したモデル部、タグデータ変数域部そしてVIEW画面部により構成されている。モデル部はプラントを構成する装置をモデル化したプラントモデル部と、制御系をモデル化した制御モデル部で構成される。プラントモデル部と制御モデル部はタグデータ変数域を介して接続され、プラント全体のモデルとして動作する。制御モデル部にはDCSのループ制御、アドバンス制御、インターロック回路、シーケンス制御等必要な制御システムをモデルとして構築する事ができる。このプラントモデルを利用者に操作し易い形で提供するためにグラフィックインタフェース(GUI)としてVIEW画面機能が接続できる。VIEW画面にはDCS操作をエミュレートする操作画面と、シミュレータの実行を操作・監視するための実行制御画面の2種類が用意されており、目的に応じてユーザーがカスタマイズできるようになっている。更に、タグデータ変数域を介して外部に用意したアプリケーション(例えば市販されている高度制御ソフトウェア等)と容易に接続が可能となっている。以上の機能概要を図2に示す。

3.1 シミュレータ構築機能

プラントモデルの開発・テストは Visual Modeler を使用して行いが、図2で示したようにビュー画面で表示・変更するプロセスモデルの各種変数と接続するためにタグデータ変数の登録が必要である。また、ビュー画面で使用するトレンドデータ収集、制御系の計器ブロック表示、操作監視用の一般的なグラフィック表示などの画面を作成する必要がある。これらの作成・テストを行う機能がビュー編集機能として提供されている。トレンドデータ収集表示、制御ブロック表示についてはタグデータ変数名を各ブロックに登録するだけで画面の作成は必要ない。グラフィック画面については専用のグラフィックエディタが用意されており、ユーザーが自由に画面を

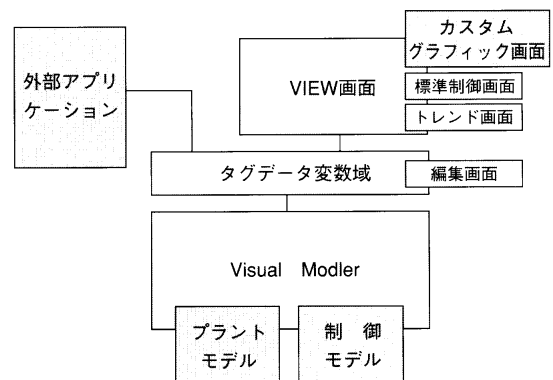
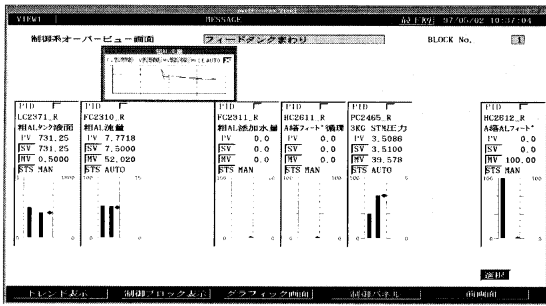
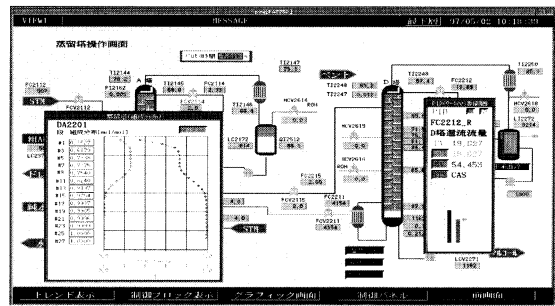


図2 VMVIEW機能構成

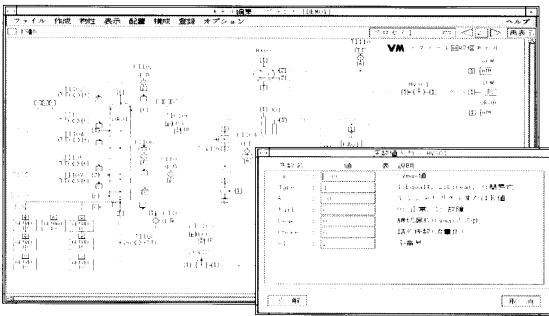
制御ブロック操作画面



グラフィック操作画面



モデル編集PFD画面



実行制御操作パネル

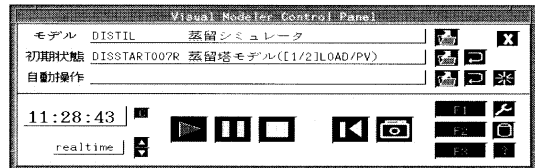


図3 VMVIEW画面

設計・作成することができる。また使用頻度の多い画面についてはライブラリとして登録し、再利用することができる。

3.2 シミュレータ実行機能

作成されたプラントシミュレータを利用するための機能の一つとしてシミュレーション実行制御機能が用意されている。Visual Modelerの実行画面で行う種々の実行制御をビュー画面から行うことができるように、図3に示す実行制御パネルがビュー画面上で使用できる。

3.3 オペレータインタフェース機能

作成されたプラントシミュレータを利用者が操作するためのGUIとして、制御ブロック操作画面、グラフィック操作画面などが使用できる。(図3)これらは3.1のシミュレータ構築機能で編集・登録される。トレンド表示はグラフと数値を切り替えて表示することができる。トレンド収集データはブロック化され1つのブロックで8点のタグ変数を収集できる。制御ブロック画面は制御系の表示・操作を行うことができ、1ブロックに8ループの制御計器を登録できる。制御計器の表示種類は標準で用意されている。グラフィック操作画面は自由にユーザーが作成する操作画面であり、画面からサブウィンドウの表示、他画面への移行、制御計器の呼び出しなどができる。

3.4 ユーザカスタマイズインタフェース機能

プラントシミュレータをオンラインで多角的に使用するためにユーザーのアプリケーションとのインタフェー

スが必要となることがある。タグデータ変数域アクセス関数ライブラリは、タグデータ変数域の変数をユーザープログラムからアクセスするインターフェースである。ユーザー作成プログラム実行部は、モデルの実行周期に対応してモデル計算の前後でユーザーの作成したプログラムを呼び出すインターフェースである。また、このユーザープログラムには、シミュレータの起動や初期化、計算実行、スナップショットなどのVMVIEWの実行制御から出されるコマンドが渡されるので、これを用いてユーザーのアプリケーションと同期を取ることができる。

4. VMVIEWの応用事例

ダイナミックシミュレータを疑似オンラインの形態で活用した事例を紹介する。利用者の中にも、折角作成したプラントモデルを幅広く活用したいという要求が出てきて、導入時に複数の利用目的を考えるようになってきた。今回の例では、教育・訓練の目的で作成したプラントモデルを制御性の検証に利用した事例を示す。

4.1 教育・訓練システム

VMVIEW版では、シンプルな構成になるため運転現場に設置が可能なコンパクト型である。この特長を生かしてPlantutorとは一味違った活用の仕方を紹介する。

(1) システム構成

システムは、EWSと2台の端末から構成されている。DCS操作はタッチパネル(カスタマイズとして付加)付きの端末により実機同様のオペレーションが可能であり、図3の操作画面の他にカスタマイズ作成

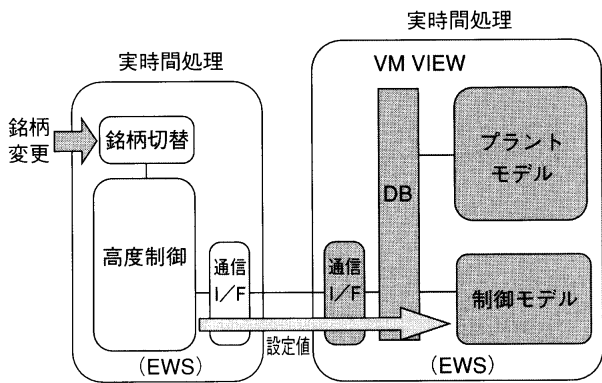


図4 システム構成

のアラーム画面などの機能を持つ。現場操作はもう1台の現場操作端末でマウス操作により行う。また、EWSはインストラクタがシミュレーションの実行制御を行う操作パネルとして使用される。

(2) シミュレータ概要

シミュレータは、プラントモデル・制御モデル・訓練モデルに分類される。プラントモデルは、物理モデルに基づく詳細モデルであり、重合槽の反応や冷却器のドラフトなどがチューニングされており、銘柄切替の操作や異常訓練など広範囲なシミュレーションが可能である。制御モデルは、DCS制御系の詳細なモデル化を行っており、ローカル制御だけでなく高度制御やインターロック、シーケンスが実機そのままに実現できる。訓練モデルには、マルファンクションやガイダンスが組み込まれている。

(3) 教育・訓練の効果

システムは現場計器室に設置され、現場に密着した教育・訓練環境を提供している。導入の効果は下記。

- ① 手軽に訓練を行う事が可能
- ② 手軽にオペレータが個人学習に利用
- ③ 操作の事前検証が可能

4.2 制御・運転支援ソフト検証システム

長期稼働の連続プラントでは、定修時以外の異常停止を絶対に起さない様な対応を行っている。そのために前述した日頃の運転訓練が重要になってくる。訓練によって、異常の未然の発見や異常時の速やかで適切な対応によりプラント停止に至らない努力を行っている。このため例えばプラントのソフト改善でも定修時に行うのが常である。現状では、定修時間の短縮や、定修までの運転期間の延長(1年から2年、更に4年になろうとしている)が検討されていて、定修に入っても保全点検、機器交換などハードウェア面の作業が目白押しとなり、ソフトウェア改善に与えられる時間はどうしても少なくなる。そこで実プラントに組込む前に十分な動作検証ができる

気相重合反応ユニット

ビジュアル表現	外部インターフェース	機能・内部処理																																
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>データ名</th> <th>内容</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Feed1</td><td>触媒+気体</td></tr> <tr><td>Feed2</td><td>気体</td></tr> <tr><td>Prod1</td><td>ポリマー+気体</td></tr> <tr><td>Prod2</td><td>気体</td></tr> <tr><td>Temp</td><td>温度</td></tr> <tr><td>Pres</td><td>圧力</td></tr> <tr><td>Level</td><td>パウダーレベル</td></tr> <tr><td>Zt</td><td>合計ホールドアップ</td></tr> <tr><td>Ht</td><td>合計熱量</td></tr> <tr><td>Zv</td><td>気相ホールドアップ</td></tr> <tr><td>v</td><td>気相組成</td></tr> <tr><td>RW1</td><td>反応量</td></tr> <tr><td>QR</td><td>反応熱</td></tr> <tr><td>MI</td><td>マルチインデックス</td></tr> <tr><td>D</td><td>密度</td></tr> </tbody> </table>	データ名	内容	Feed1	触媒+気体	Feed2	気体	Prod1	ポリマー+気体	Prod2	気体	Temp	温度	Pres	圧力	Level	パウダーレベル	Zt	合計ホールドアップ	Ht	合計熱量	Zv	気相ホールドアップ	v	気相組成	RW1	反応量	QR	反応熱	MI	マルチインデックス	D	密度	<ul style="list-style-type: none"> ・反応速度式による反応量計算 ・触媒活性の時間的な劣化計算 ・生成ポリマーの物性計算 ・流動層のレベルと圧力損失計算 ・分散板の圧力損失計算 <p><物質収支、熱収支モデル> 反応器内のエチレンモノマー濃度 $V_0 \frac{d[M_1]}{dt} = F_v ([M_1]_0 - [M_1]) - R_{M_1}$ 反応器内の触媒モル数 $\frac{dY}{dt} = F_v - k_d Y - Y \frac{O_2}{B_v}$ 反応器内の温度 $(M_1 C_{p1} + B_v C_{p2}) \frac{dT}{dt} = H_0 - H_{ax} + H - H_b$ </p>
	データ名	内容																																
	Feed1	触媒+気体																																
	Feed2	気体																																
	Prod1	ポリマー+気体																																
	Prod2	気体																																
	Temp	温度																																
	Pres	圧力																																
	Level	パウダーレベル																																
	Zt	合計ホールドアップ																																
	Ht	合計熱量																																
	Zv	気相ホールドアップ																																
	v	気相組成																																
RW1	反応量																																	
QR	反応熱																																	
MI	マルチインデックス																																	
D	密度																																	

図5 プロセスユニットモデル例

シミュレーション環境が要求される。訓練用として作成したシミュレータのプラントモデルと制御モデルを使用し、高度制御システムの検証を実現した。図4にシステム構成を示す。

実プラントへの組込みは実現していないものの、不具合の検出やチューニング時間の短縮の確認ができた。実運転用のDCS動作(シーケンスを含む制御系)の事前検証やスタートアップ/シャットダウン向けの運転支援機能の検証には、更に効果が期待できるものと思われる。

5. おわりに

5.1 オンラインシステムにおける活用

本稿では、ダイナミックシミュレータの疑似オンライン使用における利用を中心に述べてきたが、今後は運転予測や最適運転のためにオンラインで使用した場合の、活用を考えている。既に導入事例も散見されるが、汎用的な製品にするためにシミュレーション技術の一層の改良を進めていきたい。

5.2 プロセスユニットモデルの充実

Visual Modelerにおける、プラントシミュレーションは、プロセスユニットモデルの組合せで実現している。シミュレーションを更に発展させるには、プロセスユニットモデルの充実が重要である。図5に示すようにプロセスユニットモデルは再利用が可能なる構成となっている。利用者も含めた再利用環境を用意していきたい。

参考文献

(1) 実用産業情報 12号 p. 65-96
 (2) K.B.AcAuley, D.A.Macdonald, P.J.McLellan, "Effects of operating conditions on stability of gas-phase polyethylene reactors", AIChE Journal, vol. 41, no. 4, 1995, p. 868-879
 *2, *3は三井化学(株)の登録商標です。
 *4は三井化学(株)と横河電機(株)の登録商標です。