

化学工学教育用シミュレータ OmegaEduPack

三 浦 真太郎*・石 川 真紀夫*

Shintaro Miura・Makio Ishikawa

1. はじめに

これからのプラントにおける操業管理や運転の視点は安定運転における効率化から、安全・省資源・環境を考慮した最適化操業が求められる。最適化に関しては、アルゴリズムの領域にて機能強化が進み使い勝手の良いシステムが登場してくると思われる。しかし不測の事態発生を考えると、プラントを操作する操業技術者や運転技術者にとっても適切な対応を要求されることになる。このために操業や運転に携わる人にも、化学工学や制御工学の基礎からプラント毎の癖まで熟知する必要がある。そして複雑系への適応力が要求される。まさに飛行機の操縦に近づく。企業における技術者の育成は更に進むと思えるが、技術者の卵を送り出す教育現場にも理論中心から体験学習的な要素を取込んだ実践教育が期待されてくる。どこの大学においてもプラントの実運転可能な環境を用意できることが望ましい。そのためには、代表的なパイロットプラントを構築し維持管理していかなければならず実現することは難しい。しかし、シミュレーション環境であれば各大学で多くのプラントを保有することが可能で、維持管理もほとんど不要となる。本稿にて次世代の化学工学技術者を育成する教育用シミュレータを提案する。

2. シミュレータを使った教育

純国産の運転訓練シミュレータを開発した技術を使って、化学工学用の教育シミュレータを三井化学株式会社と共同で開発した。

* 株式会社 オメガシミュレーション

その心臓部は、運転訓練シミュレータでも使われているダイナミックシミュレータ Visual Modeler¹⁾で、化学工学モデルに基づいた詳細な装置モデルを組み合わせ、圧力流量計算を厳密に計算して、かつリアルタイムでダイナミックシミュレーションを行うことができる。

その上に見栄えのするきれいな GUI(グラフィック・ユーザー・インタフェース)を付けて、シミュレーションの様子を色、領域の塗りつぶし、文字などを変化させて分かりやすく表示できる。

この教育用シミュレータは、単に見るだけやボタンを押すだけのシステムではない。ダイナミックシミュレータで模擬した装置を使ってデータを取得してグラフ化したり、計算して整理することを行わせる。これは学生実験に近い。さらに、シミュレータで構築したバーチャルプラントでプラントの運転を試みる。これはシミュレーションゲームをイメージすると分かりやすい。失敗の経験から身をもって学習する、すなわち体験型の教育システムを目指している。

欧米のシミュレータを使った教育は、シミュレータの使用方法を習得することが目的になっているが、このシステムではむしろシミュレータを教育の道具としていることが大きく異なっている。

ただ、この教育シミュレータは企業の社内教育用に開発された経緯があり、内容的に大学の学部ではやや高度かもしれない。また、画面上で、補助説明として有用な理論式の説明や、装置図面・写真による解説などの、いわゆる CAI 的な要素はもっていない。これらの点は、いろいろなご意見をいただいたうえで、よりよい姿に持ってい

たいと考えている。

3. 化学工学教育シミュレータ

つぎにすでに開発済みの5つのシミュレータについて説明していく。これらは OmegaEduPack の製品名で販売している。5つのシミュレータはその内容から、表1のように動作原理編と基礎ユニット編に分けられる。

動作原理編には3種類のシミュレータが用意されており、プロセス工学の原理原則の習得が主眼となる。基礎ユニット編には4種類(加熱炉、反応器については開発中)のシミュレータを予定しており、単位操作の体得が中心となる。以下に、完成している各シミュレータの概要とねらいを説明する。

(1) 物質収支・熱収支シミュレータ(図1)

ブタンを燃料として空気を混ぜてバーナーで燃焼させ、バーナーから出た燃焼ガスをスチーム発生器で熱回収に利用するプロセスを使用して、化学工学の原理および基礎である物質収支・熱収支

表1 教育シミュレータ OmegaEduPack

分類	対象	目的
動作原理編	物質収支・熱収支	原理・原則の習得
	流動	
	伝熱	
基礎ユニット編	蒸留塔	単位操作の体得
	圧縮機	
	加熱炉*	
	反応器*	

* 現在、開発中

について学習する。

(2) 流動シミュレータ(図2)

タンクに貯蔵した水を、性能の異なる2台のポンプと内径の異なる2本の配管を使って高所に設置されたタンクに送液する。配管を通して水を移送することで流体の移動に関する基礎について学習する。

(3) 伝熱シミュレータ

ポリプロピレンの重合反応熱を2台の外部循環

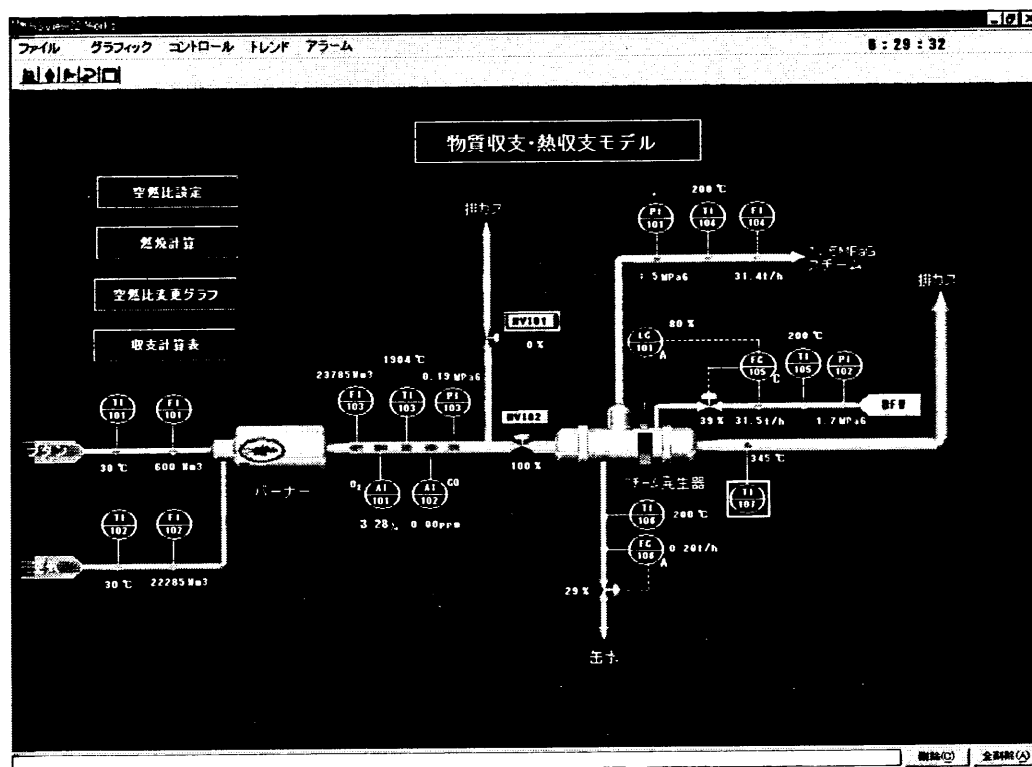


図1 物質収支・熱収支シミュレータ

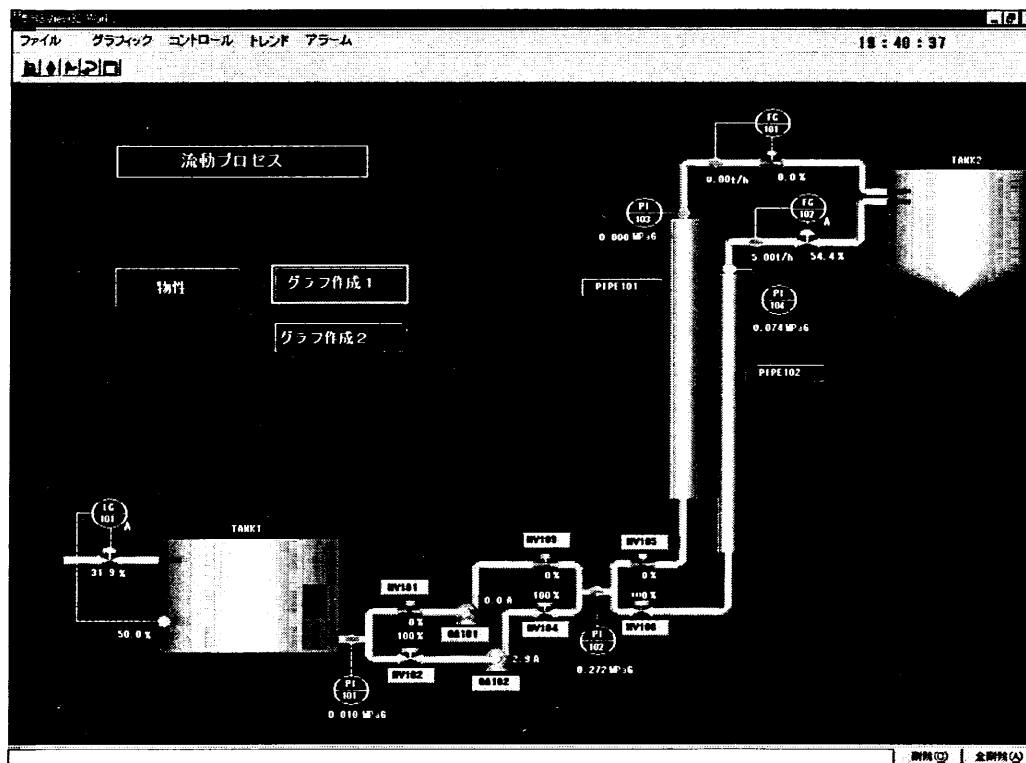


図2 流動シミュレータ

クーラー(熱交換器)を用いて除熱するプロセスを通して、化学工学の原理および基礎である伝熱について学習する。

(4) 蒸留塔シミュレータ(図3)

水・メタノール混合液の蒸留分離プロセスにより、蒸留操作に関する理論および蒸留塔の運転・制御などを学習する。

(5) 圧縮機シミュレータ

エチレンプラントで使用されている遠心式圧縮機、その付帯設備をベースにガスの圧縮工程の化学工学的な原理、および運転操作の基礎について学習する。

4. 蒸留塔シミュレータ

基礎ユニット編の蒸留塔シミュレータを例に取り上げ、化学工学教育シミュレータの詳細な紹介をすることにする。

4.1 教育のねらい

ねらいは蒸留操作に関する理論および蒸留塔の

運転制御である。演習問題を通して、

- x-y 線図や x-T 線図などの気液平衡理論、階段作図などの蒸留塔の理論段モデル
- 還流比を変化させた場合の塔内温度バランスの変化、還流比が与える影響
- 蒸留塔まわりの熱交換器での熱バランスの計算、還流比が必要熱量に与える影響
- 温度、還流量、蒸気量などの蒸留塔の制御といった内容を習得することができる。

4.2 対象プロセス

図3のように、水・メタノールの混合液(メタノール 30mol%)を理論段数 10 段(リボイラ含む)の蒸留塔にて蒸留分離する。加熱源としてリボイラに 0.8MPa(170℃)の蒸気を補給し、塔頂からの蒸気を冷却水で凝縮する。蒸留塔まわりの制御として、フィード流量、塔内温度(還流量とカスケード)、還流比(スチーム流量とカスケード)、留出液拔出し、缶出液拔出しなどの制御計器が設置されている。

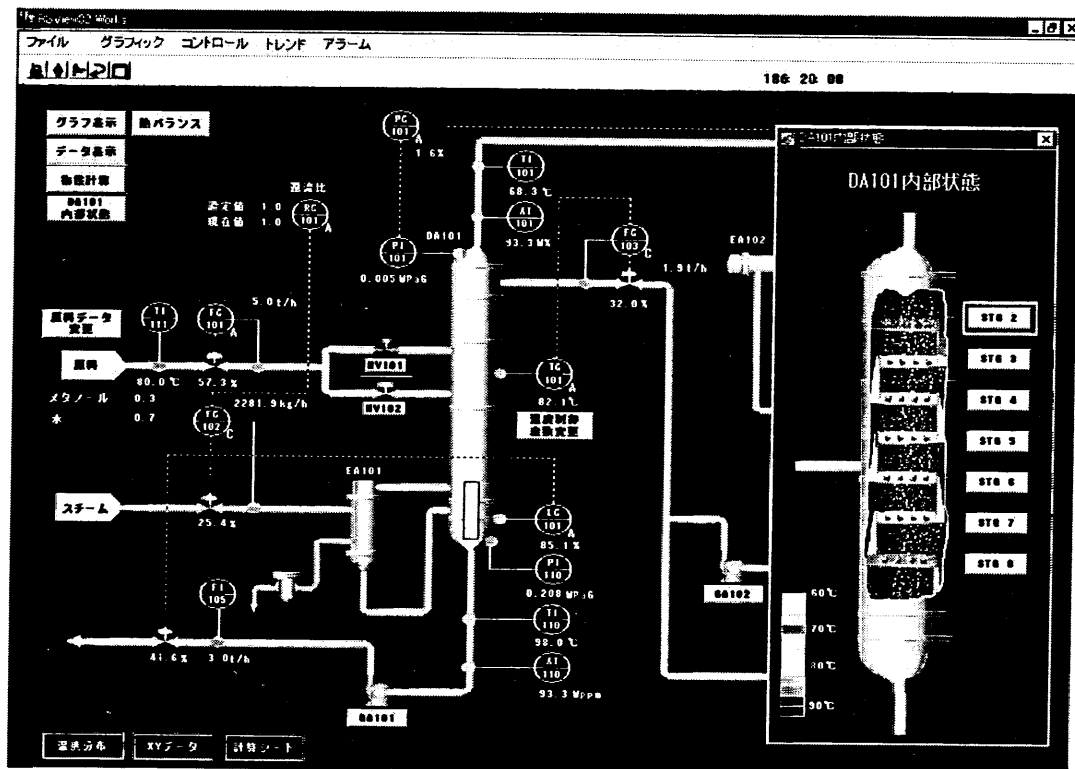


図3 蒸留塔シミュレータ

4.3 シミュレータとGUI

Visual Modelerによるダイナミックシミュレーションは、対象となるプロセスが実際のプラントと同等の動きを再現できる。蒸留塔へのフィード液の組成や温度、どの段の温度を温度制御器で制御するかといった条件を変更できるようになっており、運転条件を変えてのシミュレーションを行うことができる。

GUIは図3のように3D表現された見やすい画面になっており、運転条件の変更がこの画面から行える。塔内の内部状態は右側にあるポップアップする画面で見ることができる。各トレイ上に液面のレベル高さや溢流量、上昇蒸気量が図示されており、液温度を色で示している。さらに図4のような拡大画面が表示できる。

また、DCS(分散制御システム)の画面を模擬した制御計器調節画面(フェースプレート画面)やトレンドグラフのほか、図5のように蒸留塔内の各段の温度分布、組成分布などのグラフを表示する機能がある。また、図6のように演習問題を実施

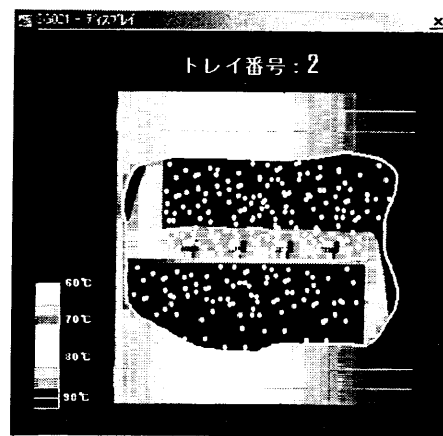


図4 トレイ断面

する上で必要な情報が得られるようになっている。

4.4 演習内容

このシミュレータでは、次のような演習を行うことにより、蒸留プロセスについての学習を行う。
(1)還流比1と4の場合で、塔内温度、組成分布が

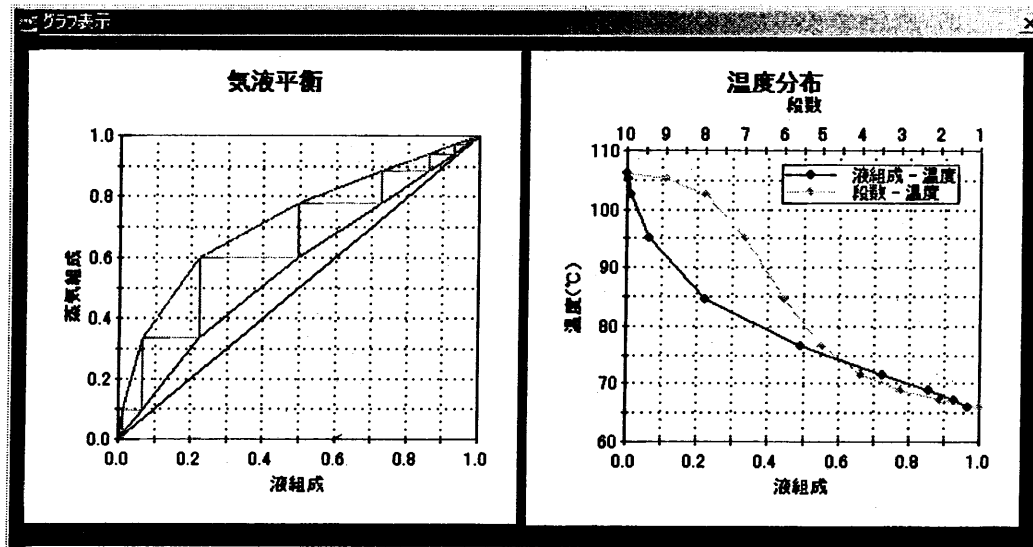


図5 組成・温度分布

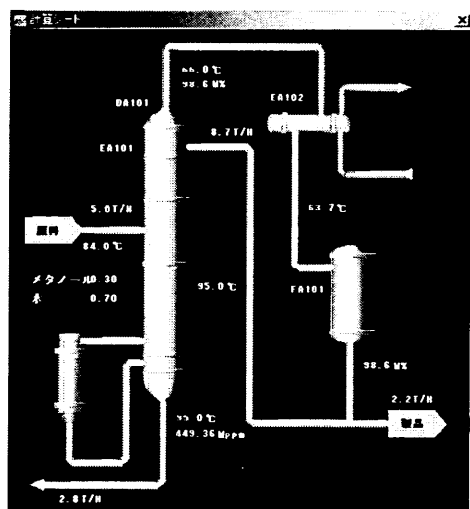


図6 収支計算用データ

どのように変化するかを x-y 線図や x-T 線図にプロットして確認する。

- (2) 還流量を増減させることで、塔内温度分布がどのように変化するか確認する。
- (3) 還流量の与える影響を確認し、蒸留塔の温度制御について検討する。
- (4) 蒸留塔まわりの熱収支、リボイラ、コンデンサにおける熱負荷、必要スチーム量を計算する。
- (5) スチーム量を変化させて、塔内温度の変化、温度制御のために必要な還流量などを確認する。

- (6) 還流量、還流比、スチーム量などの関係について検討する。
- (7) 塔内温度制御、還流比制御などの制御性を確認する。

4.5 演習問題の実施例

演習の実施例から、還流量の増減が蒸留塔に与える影響に関する演習(上記の(2)および(3))を具体的に説明していく。

- (1) あらかじめ用意された初期状態を読み込んで、演習を開始する。この初期状態では、還流量およびスチーム流量が自動制御によって一定量になるように制御された定常状態となっている。初期状態読み込直後で、還流量は 8.7t/h に設定されている。この状態で温度分布のグラフを開き、塔内の温度分布を確認する。
- (2) 還流量制御器を操作し、設定値を 8.5t/h に変更する。
- (3) 塔内の状態が新しい設定値に対して定常になるまでにはシミュレータ時刻で数時間を要するため、実行制御パネルでシミュレーション速度を設定し、加速実行を行う。トレンドグラフなどで定常状態に近くなったところでシミュレータをフリーズにする。
- (4) 温度分布のグラフを開くと、塔内の各段の温度分布がどのように変化したかがわかる。

- (5)もう一度初期状態を読み込み、同様にして還流の設定量を8.9t/hに変更して、塔内の温度分布の変化を確認する。
- (6)還流量が8.5t/h, 8.7t/h, 8.9t/hの各状態の温度分布を比較することで、スチーム量一定の運転状態で、還流量の増減がどのように塔内温度に影響するかがわかる。
- (7)蒸留塔で分離した物質が一定濃度になるようにするためには、温度制御が必要である。この演習から還流量を操作することで、塔内温度が変化することがわかったので、温度制御のために還流量を操作するというカスケード制御が有効であると考えられる。
- (8)還流量を変えた3つの状態の温度分布を比較することで、還流量の増減に対して、蒸留塔のどの段の温度が感度がよいかわかる。
- (9)実際にカスケード制御の状態にしてその制御性を確認する。また、温度制御段を変更して、制御性がどのように変化するかを比較することができる。さらに、PID制御について理解していれば、制御パラメータを変更して制御性を確認したり、簡単なチューニングを行うことができる。

5. おわりに

蒸留プロセスを例題に化学工学教育シミュレータの機能と演習手順を解説してきた。冒頭に示しているように、本シミュレータを大学教育の中で使用するには改良の余地が多く残っている。基礎ユニット編の加熱炉、反応器シミュレータは、開発・検討中であり、仕様の提示もできていない。特に反応器シミュレータは、難しい反応現象を受講者に理解させるのに効果は大きいと思われる。

しかし反応器は、利用目的によって形態が異なるため企業教育向けには、一義的に特定することはできなかった。大学教育向けの改良では、どのような教育の場で使用したいか等、教育シミュレータ作成にあたって大学からの協調・協力して戴けるとありがたい。

化学工学教育シミュレータを改良するにあたってシーズ側の視点で眺めてみると幾つかのキーワードが登場してくる。ダイナミックシミュレータ、CAI、ゲーム、臨場感(GUI)、リアルタイム性、ネットワーク対応等が考えられる。特に、CAIは教育教材としての進歩は著しい、幼児教育向けに作られた教材には参考にすべきところが多い。ゲームには、遊び感覚だけでなくシナリオの重要性や画像処理等、学ぶべきところがある。我々は、シミュレーション技術に磨きをかけるだけでなく、最新のシーズ技術に注目していく必要がある。

受講する側からすれば、一方的に与えられる内容から異常対応を通して得られる体験、受講者同士がお互いに競争し合うことやプラントを自作してみる等の内容が盛り込まれることで、受講者参加型(能動的な)の体験教育が実現できる。

現状の教育シミュレータでも使い方次第では、充分活用できるが大学教育改革の視点に立った場合は以上の整理・対応が必要になる。教育効果の高いシステム構築の実現には、弊社だけでは難しく、大学、学会やベンダの協力が必要と考える。そして本稿が実現に向けたトリガになれば幸いと考える。

参考文献

- 1) 湯本隆雅：進化するダイナミックシミュレータ Visual Modeler, 分離技術, Vol.29, No.6, P.23 (1999)

