

プロセスシミュレータを活用した化学工学実験とプラント運転操作体験

東京農工大学 工学部 化学システム工学科 北島 禎二*

1. はじめに

本稿では、昨年度、本学科が開講した化学システム工学実験（各単位操作等に関する実験を行う、化学工学では基礎的な実験課題である、いわゆる化工実験）と化学工学プロセス特論について紹介する。（株）オメガシミュレーションの多大なる御協力のもと、両講義とも昨年度から一部にプロセスシミュレータを活用した内容を盛り込んでいる。

2. 化学工学における情報教育のための設備

2.1 計算機室

本化学システム工学科では、さまざまな化学工学向けのアプリケーションソフトウェアを利用した講義を行えるよう、Windows 2000 をプラットフォームとする 27 台の PC（学生用：24 台、教官用：1 台、サーバ：2 台）を備えた計算機室（図 1）を有している。

現在、計算機室での講義で利用されているおもなソフトウェアは以下のとおりである。

- **OmegaLand**：教育用ダイナミックシミュレータ
化学システム工学実験、化学工学プロセス特論
- **Equatran-G**：方程式解法ソフト
応用化学セミナー、プロセス設計
- **Aspen plus**：プロセスシミュレータ
プロセス設計、化学工学プロセス特論
- **MATLAB**：行列演算、汎用シミュレータ
化学システム工学実験（今年度から）

上記以外にも、HYSIS, FEMLAB, CHEMKIN, PRO/II といったソフトウェアが利用できる。また、すべての PC には MS-Office 2000 がインストールされており、講義で部屋が利用されていないときには、学科の学生がレポートや研究発表資料の作成に普段から利用している。

2.2 化学工学実験室

化学システム工学実験の一部の装置では、数年前から intel-lution（現 GE ファナック）社の FIX を用いた自動制御システムを導入しており、PC 端末から実験装置を監視操作できるような構成を作り上げている。学生実験用の装置であるため構成自体は簡単なものではあるが、実際の現場同様 PC ベースの DCS を用いたプラント運転を学生が実感できる機会を提供している。

* E-mail: teiji@cc.tuat.ac.jp



図 1: 化学システム工学科 計算機室

3. 化学システム工学実験

化学システム工学実験では、学部 3 年生後期の毎週月、火曜 日午後を 1 セットとして 9 回、12 個のテーマに関する実験を 2～3 名のグループにわかれて行う。講義枠の都合上、9 回分の時間しかとれないため、必ずしも全員がすべての実験テーマを受講するわけではない。

3.1 新実験テーマ「シミュレーション」

12 個の実験テーマのうち、「シミュレーション」は昨年度から始まった新テーマであり、全員が受講するテーマとなっている。このテーマでは、以下の 4 つのサブテーマについて実際の装置を用いずに、その代わりとして OmegaLand を用いて、基礎理論および運転操作等について学習する。

- **物質収支・熱収支**：ブタンの燃焼反応と燃焼ガスの熱回収
- **流動**：配管内の水の移送
- **伝熱**：二重管型熱交換器（交流）による熱交換
- **蒸留**：水-メタノール系の蒸留分離

なお、4 つのサブテーマのうち燃焼を除く 3 つについては、「シミュレーション」以外の別テーマとして実際の実験装置を用いた実験テーマがある。

実験の 1 日目は、まず最初に各サブテーマに関する簡単な講義とシミュレータの操作説明を、PowerPoint および実験手引き書を用いて行っている。その後、各グループごとにひとつのサブテーマに関するシミュレーション課題を実施する。2 日目は現場写真等を用いて、実プラントに関する説明を 15 分ほど

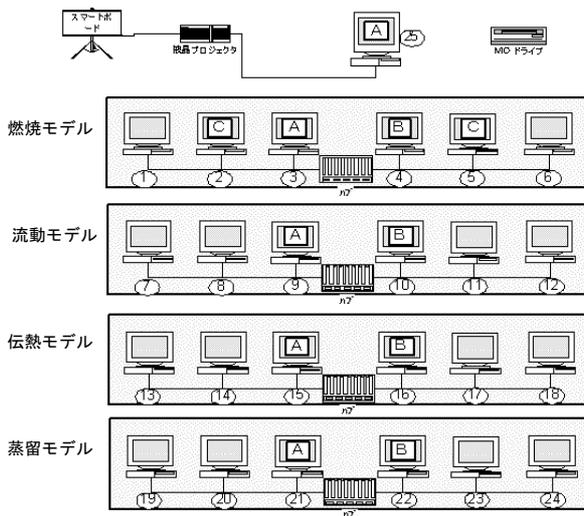


図2: シミュレータシステム構成

行った後、一日目とは別のサブテーマに取り組む。

3.2 システム構成

「シミュレーション」では、前述の学科計算機室を実験室として利用する。図2に示すように、4つのサブテーマは各列ごとにそれぞれのランタイム版シミュレータがインストールされている。各列では図中AのPCがメインのシミュレータであり、その他の5台のPCはビュー機能のみを提供している。そのため、どこか1台のPCでシミュレータに対する操作を行うと、それが列内のすべてのPCに反映されるようになっていく。

3.3 アンケート結果

実験後、受講生32名に対して以下の項目に関するアンケートを実施した(実施、集計は(株)オメガシミュレーション横山氏による)。集計結果を図3～7に示す。

- 授業として
- PCを使ったIT支援実習について
- 装置を使った実験と比較して
 - － 実験装置と違う点(複数回答可)
 - － 好み(PC v.s. 装置)
- 今後の改良について(記述式)

前述のように、「シミュレーション」は昨年度から始まった実験テーマである。そのため、こちら側の事前の準備不足というマイナス要因もあったのだが、図3～5の結果から、受講生は本テーマをかなり好意的にとらえているものと考えられる。

「実験装置と違う点」に関しては、少数意見として、「操作によって装置内でどのように何が変化しているかが見られない」、「学校で経験することができない工業的なことを体験できる」、「時間を有効に使える」、「正しい値(理論値)が求まる」、「概要が理解しやすい」、といった回答があった。

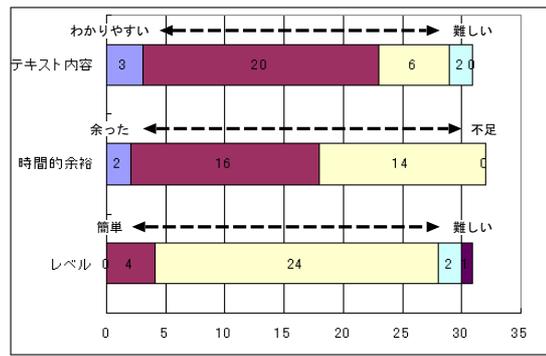


図3: 授業として

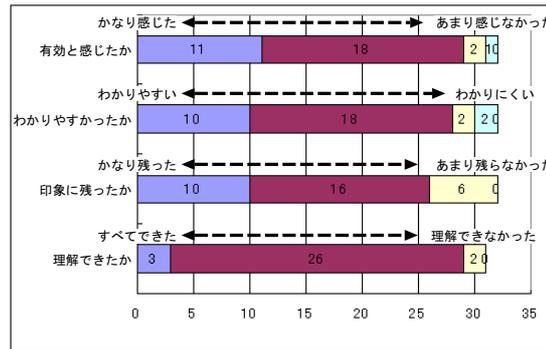


図4: PCを使ったIT支援実習について

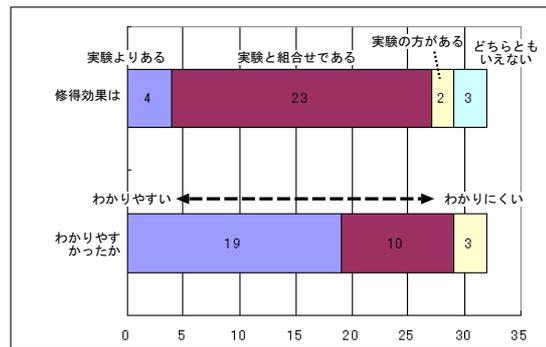


図5: 装置を使った実験と比較して

「好み」の理由として、PCに対して肯定的な意見では、「分かりやすい」、「時間の無駄がない」、「正確なデータが取れる」、「いろいろなパターンが実行できる」、といったものが多かった。その一方で、「自分でグラフを作成する必要もなく、誰でもできてしまう実習だったので、やりがいを感じられなかった」といった、ある意味では頼もしさを感じさせる意見もあった。

記述式の回答では、プロセスシミュレータの具体的な利便性をあげた上で有効であるとの意見が多数あった。代表的な回答を以下にあげる。

- カリキュラムでの(シミュレーション導入の)増強・継続を希望。

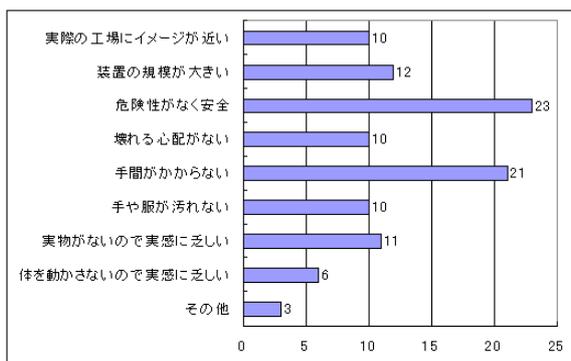


図 6: 実験装置と違う点 (複数回答可)

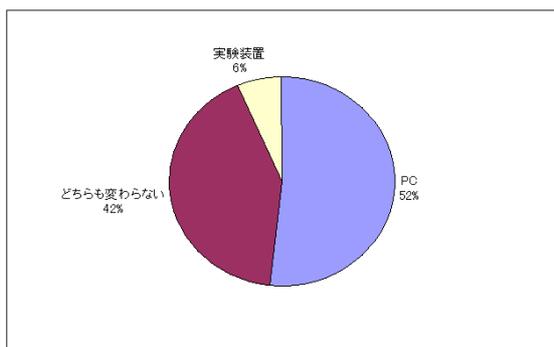


図 7: 好み

- 現実にコンピュータ制御が使われているので、シミュレーションの授業を増やして欲しい。
- 実際の実験装置よりも大規模ながら、プラントの概要が掴みやすい。
- コンピュータのすごさを感じた。

当然のことながら肯定的な意見ばかりではなく、少数ながらもつぎのような弱点も指摘された。

- 実感に乏しい。工場見学との組合せを希望。
- ソフトが勝手に操作するので、理論・原理がわかりにくい。
- あまり頭を使わなかった。

1 番目の意見に関しては、現場写真による解説を加えていたものの、やはり学生にとっては物足りなく感じられたようである。本学科でも工場見学は実施しているが、希望者のみということで、残念ながら参加者もそれほど多くないようである。

肯定的な意見にあった要望も考慮すると、学科のカリキュラム全体との関連を見直す必要があるが、まずは本実験内で実現可能なことから手がけてみる予定である。具体的には、これまで、「シミュレーション」とまったく関連なく別テーマとして実験を行っていた、「伝熱」、「蒸留」の 2 テーマについて、今年度は、「シミュレーション」の対応するサブテーマと組み合わせる計画である。とくに伝熱実験装置 (図 8) には FIX も導入されており、総合的なコンピュータ支援を実感できる実



図 8: 二重管型熱交換器による伝熱実験装置

験テーマにできるのではと期待している。また、「動特性」に関する実験にも MATLAB を導入し、実験装置とシミュレーションの組み合わせを増強する計画を進めている。

2, 3 番目の指摘は、シミュレーション (計算機) 導入の際によく言われる、いわゆるブラックボックス化による弊害である。この問題に対しては、シミュレーション課題にとりかかる前の説明をブラッシュアップするといった実験内での基本的な改善のみならず、現在、学部 1 年からの計算機関連授業 (プログラミングや数学) の内容の見直しをはかっている。

4. 化学工学プロセス特論

こちらは金曜日の午前 2 コマを使って開講している大学院の講義で、おもに博士後期過程の学生を対象に、ケミカルエンジニアとしてより実践的な技術を修得することを目的としている。昨年度は前半の 6 回を Aspen plus の習熟に、後半 2 回を OmegaLand を用いたプラント運転操作体験とした。

4.1 常圧蒸留装置の運転操作

運転操作対象として、図 9 に示す常圧蒸留装置 (CDU) を採用した。2 回の講義のうち、1 日目はおもに座学を、2 日目に実習を行った。

現在の学部、大学院の講義では、PFD や P&I といったもっとも基本的なプロセス・ダイアグラムにさえ触れる機会がない。蒸留自体は学部の講義や化学システム工学実験で学習しているものの、石油精製プロセスといったより大きな範囲に関してはまったくなじみがなく、教科書的な解説のある成書もそれほど見当たらない。

そこで 1 日目はまず最初にダイアグラムの見方の説明から始め、石油精製プロセスと常圧蒸留装置について解説し、図 9 の上でフローをたどる作業を行った。また、現在のプラント運転形態の主流である、DCS による監視操作、パネルオペレー

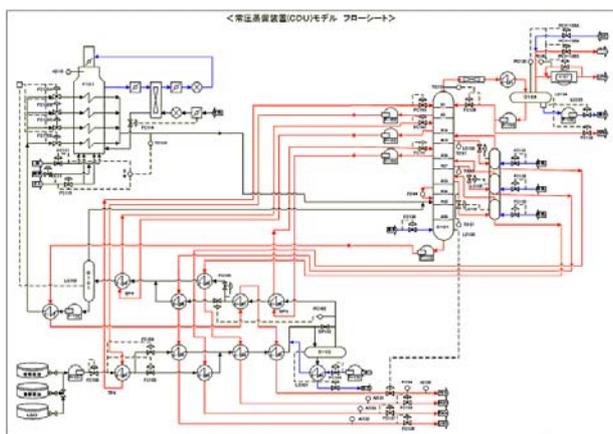


図9: 常圧蒸留装置

ションに関しても解説を加えた。

2日目は、運転訓練シミュレータ (OmegaLand) の操作方法を簡単に説明した後、常圧蒸留装置のスタートアップに取りかかってもらった。実際の運転では数日という時間を要する操作であり、いかにシミュレータが倍速機能を持っているとはいえ、講義の時間枠でスタートアップのすべてを行うことはできない。そこで、OmegaLand のスナップショット機能を利用して、以下のごく一部分のみを体験してもらうこととした。実際の操作は、4, 5 名を1グループとして、グループ単位での運転操作を行った。

- ロードアップ: 50% → 100%
- 加熱炉燃料変更: Fuel Gas → Fuel Oil

4.2 アンケート結果

こちらに関しても化学システム工学実験と同様、講義後にアンケートを実施した。設問内容は前述のものと同様である。

統計的な意味で参考にするには回答数 (受講生数) が少なかった (9 名) ため、アンケート結果の詳細については割愛するが、講義時間が2日分しかなく、しかも年末年始をはさむ最悪とも言える日程であったにも関わらず、時間に関して以外はこちらについてもかなりの好印象であった。

さすがに受講生が大学院生であるためか、記述式の設問に対する回答は、「1つのグループに課題を与えて自由に操作させ、目的を達成できるような運転を実現するような実習ができれば良かった」といった具体的な要望がいくつかあがっていた。DCSを用いた大規模プラントの運転操作への関心を示す意見も多く、中には、「蒸留塔の操作端の多さに驚いた」といった率直な感想もあった。

また、化学システム工学実験でのアンケートでもあがっていた、「装置が見えない」、「運転している実感が乏しい」といった意見もやはりあり、「現場を見たい」という要望もあった。

4.3 反省点

アンケート結果を含め、今回の運転操作体験の講義に関する所感を以下にまとめる。

● プロセスの習熟不足

実際にプラントを運転するにはフローはもちろんのこと、タグ名もほとんど頭に入っていないなければならない。講義時間の問題もあるが、(はじめての) プラント運転操作の例題として常圧蒸留装置は規模が大き過ぎたのかも知れない。

● シミュレータ操作の習熟不足

昨年度を受講生は、化学システム工学実験の「シミュレーション」テーマを受講していない。そのため、OmegaLand は今回が初体験であり、今回の講義時間内では他にすべきことも多く、操作に慣れるまで至らなかった。

● 運転役割分担の計画倒れ

実際の運転形態を考慮して、各グループでプラント内装置の担当範囲を決めてスタートアップをする計画であったが、上記の問題により実現できなかった。

● 教官側の知識不足

講義では、(株) オメガシミュレーション板垣氏に全面的な御協力をいただいたが、そもそも講義をデザインする教官側に実プロセス、オペレーションに関する知識が欠けている。

これだけのマイナス要因があったにも関わらず、前述のようなアンケート結果が得られたのは、今までの伝統的な化学工学教育とは異なる本実習に対する学生の関心の高さによるものであると考える。そこで、今年度の化学工学プロセス特論では、十分に時間をかけて対象プロセスの再選定を含めた講義シナリオの再検討を行うために運転操作体験はお休みとした。来年度、より充実した内容で新規一転、再挑戦する予定である。

5. おわりに

本学科で昨年度より実施しているプロセスシミュレータを活用した講義について紹介した。受講生に対するアンケート結果は概ね良好であり、一昔前には必ず見られたコンピュータに対する拒絶反応のようなものはまったく見受けられなかった。

しかしその一方で、シミュレーションの背景となっているコンピュータやプログラムといった情報技術に関する基礎知識、論理やアルゴリズムなど数学的背景といったものへの学生の関心、理解度は著しく低い。個人的には、アンケートの感想も使う側からの意見ばかりで、こんなソフトを作ってみたいといったものがまったくなかったことが残念である。

本事例は教育ツールとしてのプロセスシミュレータの有効性を示す一例となった。しかしながら、こうした強力なツールを有効に使うためには、カリキュラム全体の中でのその位置付けを明確にしておかなければならず、そうでなければかえって弊害ばかりが目立つという結果にもなりかねない。学生側の意識の問題ばかりではなく、教官側の責任も重い。