

運転訓練シミュレータの開発



住友化学株式会社 生産安全基盤センター
橋 爪 悟*

はじめに

近年、団塊の世代を中心とした熟練オペレータの大量退職や工場の海外移転に伴い、新人オペレータや外国人オペレータへの技術伝承が課題となっている。当社では、運転訓練シミュレータ (Operator Training Simulator: OTS) を開発し、国内プラントの安全・安定操業の維持、海外ライセンス先の顧客ニーズの対応に努めている。運転訓練シミュレータは、プラントの挙動を忠実に再現するものでなければならず、当社においてはシミュレーションエンジンとして Schneider Electric Software 社のダイナミックシミュレータ DYNOSIM を主に採用し、それをプラットフォームとしてプロセスのダイナミックモデルが開発できる人材と環境を整えている。また、運転操作画面となる HMI (Human Machine Interface) には、Wonderware 社の InTouch を主に採用し、プラント制御監視システム (分散制御システム、Distributed Control System: DCS) さながらのリアルな操作環境を安価に実現している。本稿では、当社における運転訓練シミュレータの開発状況をはじめ、自社あるいは海外での運転訓練シミュレータの活用状況、今後の展望について述べる^{1), 2)}。

運転訓練シミュレータ

1. 運転訓練シミュレータの概要

運転訓練シミュレータは、Fig. 1 に示すように、コントローラを含むプラントの動的な挙動を模擬するダイナミックシミュレータと、運転操作画面を模した HMI から構成される。運転訓練シミュレータの主な用途としては、既存プラントにおける非定常操作やプラント・設備トラブル時の対応訓練、新規プラントにおける設備稼働前のスタートアップ訓練、ライセンスプロセスの教育、化学工業における一般的なプロセスを題材とする汎用的な操作訓練などが挙げられる。その他、運転ノウハウの

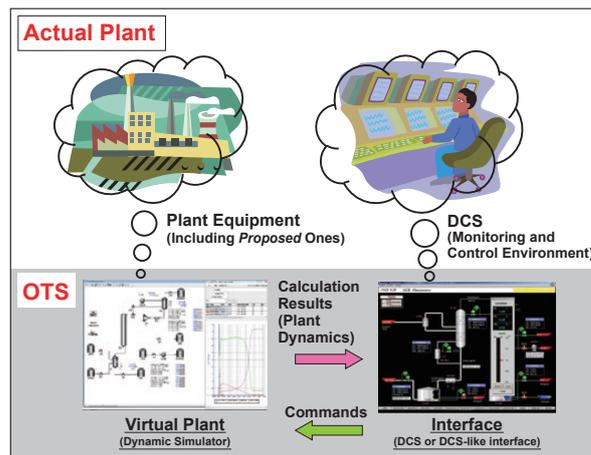


Fig. 1 Concept of Operator Training Simulator, OTS

伝承や暗黙知化された操作の形式知化、制御システム動作の事前検証用としての利用も考えられる。

2. 運転訓練シミュレータの構成

運転訓練シミュレータは、目的に応じて Fig. 2 に示すような組み合わせが考えられる。Type 1 が最も実プラントに近い構成であり、プラントの挙動をダイナミックシミュレータで再現し、DCS はコントローラも含め実機と同等のものを用いる。なお、図中の BPCS は Basic Process Control System の略でコントローラのハードウェアおよびソフトウェアを、HIS は Human Interface Station の略でオペレーションを行うコンソールをそれぞれ意味している。本構成は、HMI の操作性や制御動作の再現性が高く、実際の対象プラントを運転するオペレータの DCS 操作訓練用途として使われることが多い。また、実プラントの DCS 定義情報やデータベースをそのまま転用でき、制御システムの設計や動作検証用としても使えるといった利点がある。一方で、運転訓練シミュレータ用にハードウェアを含めて実際の DCS と同一システムを持つことになるため、設備費が高くなることに加え、BPCS とダイナミックシ

* 現所属：千葉工場 兼 生産安全基盤センター

ミュレータとの接続も必要となることから開発工数も大きくなる。Type 2は、BPCSの機能をDCSベンダーから提供されているエミュレータを活用してコンピュータ上に再現するもので、BPCSのハードウェアを必要としないことに加え、BPCSエミュレータとダイナミックシミュレータをコンピュータ上で接続できるため、Type 1と比べて設備費、開発工数を低く抑えることができる。Type 1とほぼ同等の環境が実現できることから、DCS操作を学ぶ点では、Type 2の構成が最も一般的と言える。一方、Type 3は、HMIとして汎用のグラフィック開発用ソフトウェアを用い、BPCSの機能はダイナミックシミュレータ上で再現する。DCSベンダーからDCSを購入する必要が無いため、設備費をさらに抑えられる。さらに、運転訓練とは関係のない部分のソフトウェア構築を省くことができ、DCSよりもダイナミックシミュレータとHMI間のデータリンクが容易なことから、開発工数も少なく済む。ただし、HMIの操作環境やBPCSの動作はDCSと同等ではないため、DCSの運転操作を学ぶという点では不向きである。我々は、Type 2とType 3の構築経験があり、コストパフォーマンスの高いType 3での開発を得意とし、適用数もこのタイプが最も多い。

Actual Plant	Equipment/Instrument		Controller	Human Machine Interface
	Equipment	Actuator	DCS	
			BPCS	HIS
Type 1	Dynamic Simulator		DCS	
			BPCS	HIS
Type 2	Dynamic Simulator		DCS	
			BPCS Emulation	HIS
Type 3	Dynamic Simulator		Simplified Interface	

DCS : Distributed Control System
 HIS : Human Interface Station
 BPCS: Basic Process Control System

Fig. 2 Various configurations of OTS

3. 運転訓練シミュレータの特徴

運転訓練シミュレータのダイナミックシミュレータには、実現象を正確に再現することに加え、イニシャルスタートアップ（窒素置換状態からのスタートアップ）や単一液相から二液相の形成といった比較的計算が複雑になる条件下においても計算が破綻せず、高い

計算収束性を有することが求められる。また、実時間内でシミュレーションが完了できることも絶対条件となる。加えて、化学プラントでは、電解質系や高粘性系のように熱力学推算式では十分な精度が得られないケースや、吸着、脱気のように理論式が固有設備に依存するケースもあり、標準モジュールをカスタマイズする場面も多い。DYNOSIMは、計算収束性が高いことに加え、モデルのカスタマイズも容易であることが特長として挙げられ、当社においては同ソフトウェアを使った開発が多くなっている。

運転訓練シミュレータ開発の特徴として、計算時間の制約から、すべてのプロセスを熱力学推算式に基づく厳密な物質収支・熱収支または平衡計算といった厳密モデルとするのではなく、統計的手法で求めた回帰式を分離プロセスや反応プロセスの簡易モデルとして用いることもある。簡易モデル化することで、計算負荷の高い気液平衡計算を省略し、高い収束性と計算実行速度を確保できるが、正確性とのトレードオフを考慮しながら開発を進めなければならない点も、ダイナミックシミュレータを使った一般的な技術検討とは大きく異なる点である。

事例紹介

本章では、当社における運転訓練シミュレータの開発事例について述べる。第1節では、社内における新人オペレータ向け教育ツールとして導入した運転訓練シミュレータを紹介する。これは株式会社オメガシミュレーションから市販されている汎用プロセスをモデル化した運転訓練シミュレータを導入した事例である。この導入事例をきっかけとして、運転訓練シミュレータの効果の確認、自社プロセス用の運転訓練シミュレータのニーズを知ることができた。第2節では、ここ10年における、自社開発した運転訓練シミュレータを紹介する。当社の多くのプロセスは、リファイナリーやエチレンなどで代表される基幹プロセスと比較して規模が小さく、運転訓練シミュレータを外注するビジネスモデルではコストパフォーマンスの面で導入が難しかった。そこで、運転訓練シミュレータを自社開発する技術を習得、開発の一部もしくは全部を内製化することで、コストパフォーマンスに見合ったシミュレータを開発することができるようになった。第3節では、自社開発した運転訓練シミュレータの一つを取り上げ、その詳細について紹介する。

1. 社内教育用汎用シミュレータ

当社では、新人オペレータ向けの集合研修において、化学プラントにおける単位操作（流動、伝熱、燃焼、蒸留）やプロセス制御などの座学教育に加え、2007年度から運転訓練シミュレータを使った教育を実施している。教育用シミュレータは株式会社オメガシミュレーションが提供するOmegaLand EduPackをベースとして開発しており、複数人のオペレータが同時に教育できるようにカスタマイズを行っている。1年目のオペレータは、蒸留塔の役割の理解やDCSオペレーションに慣れることを目的とし、2～3年目のオペレータは、運転条件を変更した際のプロセスの挙動やProportional Integral Derivative (PID) チューニングについて学んでいる。本教育コースは、基礎的なDCS操作や一般的なプロセス挙動について学ぶことを目的とし、実運転での操作感度や必要な知識は、プラント別の運転訓練シミュレータ、もしくは実務にて学ぶこととしている。

2. 実プラントを対象とした運転訓練シミュレータ

基幹プラントに比べて中小規模のプラントは、条件変更やスタートアップ/シャットダウンの機会が比較的多いことから、運転訓練シミュレータの導入があまり進んでいなかった。しかし、これらのプラントにおいても、担当するプロセスの動特性を把握することや化学工学の知識に基づいてプロセスを正しく理解することは、安全・安定操業の維持において非常に重要である。Type 3の運転訓練シミュレータを自社開発できるようになったことから、中小規模向けの適用が増え、開発対象を重要プロセスに限定することで、コストに見合った開発もできるようになっている。

これまで我々が開発した運転訓練シミュレータの一覧をTable 1に示す。Plant Aは、熟練オペレータから新人オペレータへの技術伝承を目的に、DCS操作も学ぶことを考慮してType 2の構成で開発を行った。その後の多くはType 3で自社開発している。一方で、現地オペレータのDCS操作の習得と継続的な教育訓練の必要

Table 1 History of OTS development in Sumitomo Chemical Co., Ltd.

Plant	System Configuration	Main Objective
A	Type 2	Technology Transfer
B	Type 3	Initial Start-Up Training
C	Type 3	Initial Start-Up Training
D	Type 3	Initial Start-Up Training
E	Type 3	Initial Start-Up Training
F	Type 2	Regularly Operation Training
G	Type 2	Regularly Operation Training
H	Type 2	Regularly Operation Training
I	Type 3	Initial Start-Up Training
J	Type 3	Initial Start-Up Training
K	Type 3	Regularly Operation Training

性に応じて、ベンダーと協力してType 2の開発も行っている。Type 2の開発にあたって、Type 3で開発した運転訓練シミュレータの一部を利用することで効率化を図ることや、重要プロセス、機密性の高いプロセスのモデルのみを自社開発し、これをモジュール化・秘匿化することで、自社技術の流出防止を図っている。Type 2の多くはライセンストレーニングにおける重要プロセスの運転感度把握と原理原則の理解、日常的非常操作訓練などを目的に、Type 3の多くはプラント稼働前のスタートアップ訓練用途などの短期的な使用を目的に開発したものである。

3. Plant Kの開発事例

Table 1のKプラントを例に、運転訓練シミュレータの開発事例について紹介する。本訓練シミュレータはプラント稼働前のスタートアップ訓練を主目的に開発したもので、新規プラントに配属されたオペレータを対象に、プラントが稼働する1年前からシミュレータを使った訓練を実施し、スムーズな立ち上げに貢献した。本プロセスの概略フローの一部をFig. 3に示す。ここでは、反応器で2種類の原料を反応させ、分離工程で目的成分と軽沸成分、重沸成分に分離し、軽沸成分の一部を

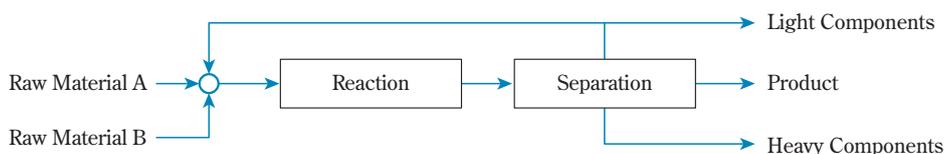
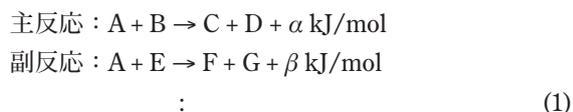


Fig. 3 Simplified block flow diagram of Plant K

反応器にリサイクルしている。スタート直後はリサイクルがなく低負荷状態からの立ち上げとなる。リサイクルの開始や負荷上げなどの運転条件変更に対して、原料フィード量や反応温度を適切に調整し、安定的にプラントを運転して定常状態へ移行することが求められる。本プロセスの訓練において、反応温度の調整が最も重要であり、反応器内の温度分布を正確に再現できるように、式(1)に示す数十の反応モデルを組み込んでいる。



また、反応速度式はアレニウス型を基本としており、ラボ試験で得られた知見を基に活性化エネルギーや頻度因子を決定している。この反応器における、反応器入口温度の変化に対する反応器内温度分布はFig. 4のようになり、入口温度の変化に対して、反応器のピーク温度や位置が変動していることが分かる。これは、小規模プラントでの実験結果や類似プラントの挙動と非常に良好な一致を示した。また、条件変更時の変化速度の感度も比較的良好に一致するようにモデルの調整を行っている。設計情報から得られる定常条件だけでなく、動的な変化も実機の挙動に合わせるようにパラメータ調整することが訓練シミュレータの構築にあたっては重要である。

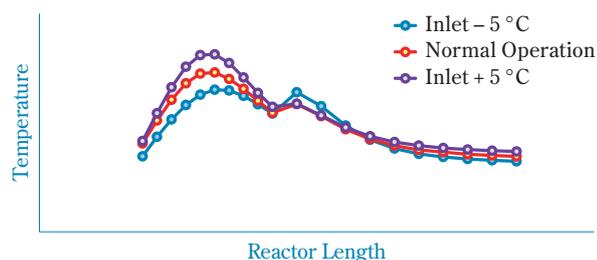


Fig. 4 Reactor temperature distribution with different inlet temperatures

本運転訓練シミュレータは、教師（熟練者）の指示に従って訓練者が対象プロセスのスタートアップ／シャットダウンや緊急停止からの復旧操作を訓練するトレーナー付き訓練（Fig. 5）や、マルファンクションへの対応操作などを訓練者のみで学習できるオンデマンド



Fig. 5 A shot from the operator training session at Plant K using in-house OTS

訓練の両方が可能となっている。このため、一連の教育の後で、より理解を深めるための自己学習が可能である。新規プラントのスタートアップ訓練のために本シミュレータを開発したが、プロセスやオペレーション理解に有効との現場からの評価も高く、継続してオペレータ教育に活用されることになった。今後は、安全・安定操業を推進すべくマルファンクションのメニューを充実させるなど、ブラッシュアップを進めていく考えである。

まとめと今後の展望

本稿では、運転訓練シミュレータの概要と当社での開発状況について述べた。Type 3の運転訓練シミュレータであれば全て社内での開発が可能であり、これまで導入が困難であった中小規模のプラントでも、コストに見合ったシミュレータ開発ができるようになった。一方、ライセンスプロセスにおいては、ライセンス先の要望に合わせてType 1、2へと拡張し、提供するビジネスモデルも、これまで以上にニーズが高まることが期待される。さらに、Virtual Reality (VR) を使ってフィールド操作も訓練できる運転訓練シミュレータも登場しており、オペレーション技術の維持・向上を目的とする運転訓練シミュレータはますます重要になると考えられる。今後も運転訓練システムの積極的な開発、展開を進めていきたい。

引用文献

- 1) 林 重光, 計装, 56(2), 32 (2013).
- 2) 林 重光, 計装, 57(6), 12 (2014).