

**博士論文**

**プラント運転における  
技術伝承に関する研究**

**鈴木 剛**

**2007年9月21日**

奈良先端科学技術大学院大学  
情報科学研究科 情報システム学専攻

本論文は奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科に  
博士(工学)授与の要件として提出した博士論文である。

鈴木 剛

審査委員：

西谷 紘一 教授	(主指導教員)
杉本 謙二 教授	(副指導教員)
野田 賢 准教授	(副指導教員)

NAIST-IS-DD0461203

**Doctoral Dissertation**

**Study on Technological Transfer  
for Plant Operation**

**Go Suzuki**

**September 21, 2007**

**Department of Information Systems  
Graduate School of Information Science  
Nara Institute of Science and Technology**

**A Doctoral Dissertation**  
submitted to the Graduate School of Information Science,  
Nara Institute of Science and Technology  
in partial fulfillment of the requirements for the degree of  
Doctor of Engineering.

**Thesis Committee:**

<b>Professor</b>	<b>Hirokazu Nishitani</b>	<b>(Supervisor)</b>
<b>Professor</b>	<b>Kenji Sugimoto</b>	<b>(Co-Supervisor)</b>
<b>Associate Professor</b>	<b>Masaru Noda</b>	<b>(Co-supervisor)</b>

# プラント運転における技術伝承に関する研究<sup>\*</sup>

鈴木 剛

## 内容梗概

石油精製プラント、化学プラント等の装置産業において、プラントの安定運転や安全確保は、中央操作室のボードオペレータの監視操作と現場作業を行なうフィールドオペレータの日常的な保守・点検によって維持されている。特に熟練オペレータはプラントの過去の履歴、運転状況、現場環境等を総合的に判断し、マニュアルにはない経験に裏付けられたノウハウによって、プロセスや装置・機器の異常兆候を発見し、安定操業と事故の未然防止に大きく貢献している。これらのオペレータの教育・訓練については従来から **OJT (On the Job Training)** がその大きな役割を担ってきたが、少人化により **OJT** の機会が減り、熟練者のもつノウハウの非熟練者への伝達が困難になりつつある。中でもフィールド作業については支援ツールも少なく技術伝承が困難な状況となっている。本研究では、フィールド作業の指針となる手順書などの資料を見直し、技術・技能伝承の観点から課題を抽出するとともに、**OJT** で活用できる教材の開発方法と **OJT** の実施方法について考察した。また、**OJT** を基本とするオペレータ育成の効率化を目的として、交代制で勤務するプラントオペレータの中期的な配置計画問題について考察した。

まず、実際のフィールドオペレーション業務をヒアリングした結果、手順書などの関係資料が、操作手順学習用、作業リスク評価用、作業スキル診断用、作業理解度チェック用、作業時確認用などの目的毎に作成されていて、それらが相互に整合性が取れていない部分があり、これが統一的な理解を妨げる一因になっていることがわかった。この解決方法として、時系列的にオペレーションに関するすべての情報を記述するための拡大時系列表を考案した。表計算ソフトを利用することによって、共通の時間軸に沿って、操作の背景や理由（ノウハウ）、安全確保のための注意点、操作対象である装置や機器の詳しい説明を関連づけて記述できるようになっ

た。使用目的に合わせて必要な項目を切り出して個別の表を作成すれば、整合性の取れた **OJT** 資料が簡単に編集できる。さらに、この拡大時系列表方式では変更管理も容易で、作業ミスに対する対応処置などの新しい項目も容易に追加できる利点がある。

整合性のある教育・訓練資料を整備することは重要であるが、資料作成のみではノウハウの伝承にはならない。オペレータの育成には人を介しての **OJT** が不可欠である。**24** 時間連続で運転されるプラントでは、複数の班を編成して交代勤務をする形態を取っている。このような勤務形態の中で **OJT** を行なうには、熟練者と非熟練者をうまくペアリングする必要がある。すなわち、ヒューマンリソースを有効に使ったマンツーマン教育の効率化が課題になる。本研究では、日常業務である安定・安全運転の確保と **OJT** によるオペレータの育成の両者を考慮した **10** 年程度の中期的なオペレータの配置計画について、ケーススタディを使って考察した。すなわち、安定・安全運転に必要な班員構成を制約条件として、担当プラントに対する平均通算 **OJT** 期間の最大化を目的とする問題を定式化した。**OJT** による教育とスキルレベル向上との関係を考察し定式化したことで、定量的な評価指標に基づくオペレータ最適配置計画の立案が可能になった。プラントオペレータの **OJT** に基づく育成は、今後の持続的なプラントの安定・安全運転を支える最重要課題であり、提案したアプローチはこの課題解決のために役立つと考えられる。

## キーワード

プラント運転, 教育訓練, 技術伝承, OJT, オペレータ最適配置計画

---

\*奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科情報システム学専攻学位論文,  
NAIST-IS-DD0461203, 2007年9月21日.

# **Study on Technological Transfer for Plant Operation\***

**Go Suzuki**

## **Abstract**

In petroleum refineries and petrochemical plants, all operability issues such as safety, stable operation, and effective production are put into the hands of the board and field operators. They supervise automated control systems and emergency shutdown systems. The experienced operators have know-how regarding operations and they are skillful in coping with normal and abnormal situations including emergencies.

It is widely known that on-the-job training (OJT) is indispensable for ensuring skillful operators. However, these days, the opportunities for providing OJT are decreasing because of a small number of shift members and insufficient materials to assist OJT. In particular, fewer educational materials and tools are provided for on-site plant operation compared with board operation. In this thesis, a survey of current education systems and educational materials for operators is carried out in select refineries and petrochemical plants. Based on the investigation results, we propose a teaching material development method for OJT for on-site plant operations. We also solve a scheduling problem of shift member arrangement in coping with career advancement in the medium and long terms.

Useful OJT materials such as operational manuals aid effective skill development. Usually there are several kinds of documents for operator education in a plant. The purposes of these are teaching of operational procedures, providing check lists for actual operations, risk assessment of situations, operator's skill evaluation and so on. Each document is made

individually by an instructor or an experienced operator. This often causes some inconsistency in content among these materials. We propose an augmented sequential data table, which integrates necessary information for each task along with a time series. This table includes operational subjects such as operational tasks, know-how of the task, risk of the task and so on. We can select a necessary set of items from the integrated table and make a customized one to satisfy each operator's educational requirements.

Scheduling of OJT is important from the viewpoint of career advancement. An appropriate matching of an experienced personnel member and a trainee in a shift is required for OJT. We represent the necessary conditions of an operation team for safe and steady operations and OJT availability. We formulate an optimal shift assignment problem of plant operators in the medium and long terms as a nonlinear mixed integer programming problem. We solve this problem by decomposing it into outer and inner problems. The latter problem becomes a mixed integer linear programming problem. The solution shows an optimal operator skill level development process and member combination of the operation shift team.

**Keywords:**

plant operation, education and training, technological transfer, on the job training, optimal shift assignment

---

\*Doctoral Dissertation, Department of Information Systems, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, NAIST-IS-DD0461203, September 21, 2007.



# 目次

<b>1. 序論</b>	<b>1</b>
1.1 プラントオペレーションとは	1
1.2 プラントオペレータの育成と教育	3
1.3 本研究の目的	6
<b>2. プラントオペレーションにおける技術伝承の現状</b>	<b>10</b>
2.1 はじめに	10
2.2 製油所のオペレータに対する実態調査	11
2.3 教育支援ツール	15
2.4 化学産業におけるスキル教育の問題点	17
2.5 現場作業 OJT 教材開発プロセス	18
2.6 教材作成のアプローチ	19
2.7 まとめ	20
<b>3. フィールドオペレータのための OJT 教材開発</b>	<b>28</b>
3.1 はじめに	28
3.2 現場作業 OJT 教材の作成: ケーススタディ	29
3.3 時系列表を用いた資料の整理	31
3.4 OJT 教材開発プロセスの提案	32
3.5 追加資料についての考察	33
3.6 まとめ	36

<b>4 . OJT による育成を考慮したオペレータ配置計画</b>	<b>55</b>
4 . 1 はじめに	55
4 . 2 オペレータ配置計画問題の定式化	56
4 . 3 オペレータ配置の最適化: ケーススタディー	61
4 . 4 ヒューリスティック手法による解法	63
4 . 5 まとめ	65
<b>5 . 結論</b>	<b>75</b>
<b>謝辞</b>	<b>79</b>
<b>Appendix</b>	<b>80</b>
Appendix-A プラント運転教育訓練シミュレータ	80
Appendix-B 石油プラント保守・点検作業支援システムの開発プロジェクト	94
<b>参考文献</b>	<b>104</b>
<b>研究業績</b>	<b>107</b>

## 図目次

図 2-1	オペレータの年齢分布の例	24
図 2-2	製油所オペレータの教育体系の概略	24
図 2-3	プラントの状態と運転の分類	25
図 2-4	石油化学プラントでの教育コンテンツ例	26
図 2-5	フローチャート形式表記方法の例	27
図 3-1	廃水ストレーナー周りの管系図	54
図 4-1	オペレータ初期年齢分布	66
図 4-2	担当プラントに対する通算 OJT 期間分布の変化	67
図 A-1	開発支援ソフト Visual Modeler の画面例	88
図 A-2	訓練シミュレータのシステム構成図	89
図 A-3	フィールド、ボード（グラフィック＋フェースプレート）	90
図 A-4	フィールド＋ボード（トレンド＋設定値入力）	91
図 A-5	運転教育訓練シミュレータの概観	92
図 A-6	プラント運転教育訓練シミュレータのヒューマンインタフェース	93
図 B-1	コンテンツ例（点検対象場所）	99
図 B-2	コンテンツ例（点検方法）	99
図 B-3	コンテンツ例（作業内容チェック）	100
図 B-4	コンテンツ例（作業行動解析）	100
図 B-5	教育ツールの概念図	101
図 B-6	ノウハウ獲得支援システムの画面構成	102
図 B-7	行動パターン比較システムの画面構成	103

## 表目次

表 1-1	不安・課題を解消しつつ少数化していく手段	9
表 2-1	能力開発の概念表	22
表 2-2	C A I 導入例（コース名抜粋）	22
表 2-3	シミュレータモデル導入例	23
表 3-1	職場外教育（O f f - J T）における教育ツール	38
表 3-2	職場内教育（O J T）における教育ツール	39
表 3-3	パトロール点検表の例	40
表 3-4	標準作業手順書	41
表 3-5	各作業のリスク評価	43
表 3-6	作業診断用スキル表	46
表 3-7	作業理解度チェック（質問と解答）	48
表 3-8	作業確認用チェックリスト	49
表 3-9	行動解析用シート	50
表 3-10	拡大時系列表	51
表 3-11	標準作業手順書（改訂版）	52
表 4-1	オペレータの修得業務概要	68
表 4-2	オペレータ教育のカリキュラムの一例	69
表 4-3	オペレータの通算 OJT 期間（初期条件）	70
表 4-4	スキルレベル C および B のオペレータに対する OJT 可否の計算結果	71
表 4-5	オペレータ配置計画問題の最適化計算結果	72
表 4-6	担当プラントに対する平均通算 OJT 期間の変化	73
表 4-7	スキルアップ時のオペレータ年齢	73
表 4-8	スキルレベル C および B のオペレータに対する OJT 可否の計算結果（経験年数に基づく配置結果）	74
表 4-9	スキルレベル C および B のオペレータに対する OJT 可否の計算結果（年齢に基づく配置結果）	74
表 5-1	技能・技術伝承すべき内容の入手方法	78
表 A-1	二種類のシミュレーションの特徴	87
表 A-2	運転訓練シミュレータの機能	87

# 1. 序論

## 1. 1 プラントオペレーションとは

石油や石油化学プラントでは、安全を担保する考え方として、複数の独立した対応方法を階層的に構成する考え方がある<sup>(16)</sup>。これはプラントの製造プロセス自体での安全を担保する設計が困難な場合は、安全な運転状態を保つように制御系を設ける。制御系の上位にはアラームを設定し、アラームが発生すればオペレータが自動制御に介入して安全を保つというものである。更に上位には緊急停止システム、放出・緩和システム、系外流出物の特定場所以外への流出防止や危険回避プランの策定等がある。この各々の層に対して装置とシステムが構成されているがオペレータの作業も各々に対応したものが存在する。この中で、大きく関わるのはオペレータの作業による安全担保が一つの防御対策として位置づけられていることである。

品質を確保して生産を継続するためにも安全の担保と同様の階層構造が必要である。

- (1) プラント装置
- (2) 自動制御(通常制御)
- (3) アラームとオペレータ操作
- (4) 装置の監視と簡易的保全(修理)
- (5) 生産計画と運転条件
- (6) スタッフによる解析と改善

これらの中で、オペレータは主に(2)と(3)に関与していて、(4)にもスタッフと共同で関わることが多い。

プラントの運転には装置の運転開始や停止があり、生産中は製品品質や生産量の確保などの通常運転の他に切り替え、清掃、充填などの計画的だが非定常の運転操作がある。これをオペレータという人間に任せている。更に装置の点検は自動診断装置も存在するが、多くはオペレータの観察という人間の業務に任せている。上述のように、オペレータの役割は安全の担保以外に品質確保・生産量確保であり、装置の健全性を保つための監視・管理および生産に関する監視・管理が同様に求められている。両者にオペレータという人的要素が関与している。上述のオペレータの

業務を運転業務を考察する上で分類して考えることとする。

オペレータの業務を分類するための視点として次の3種類がある。

- 業務内容：監視と操作
- 場所：運転室とフィールド
- 体制：シフトチーフとボード(もしくはパネル)とフィールド(運転室外の装置が設置されている現場)

オペレータとして、安定な装置の運転状況か否かを判断し人間の介入の判定をするための監視、および、装置の運転状態を変更したり、変動に対応するための操作が必要なわけであり、この業務を遂行する能力が求められるようなプラントの仕組みとなっている。したがって、人的資源の有効活用と能力を身につけさせることが重要な要素となる。オペレータの業務に関する解析や検討は以前からも種々取り組まれていて運転支援に対する要望は多く、業務負荷の軽減やミスの防止および技術・技能の蓄積と伝承などを目的として運転支援システムなどが開発されている。オペレータの運転業務(操作と監視)を支援する目的で以下のものが開発されているが、運転室での運転を支援するものが多い。

- 運転支援システム
- アラームマネジメントシステム
- APC(Advanced Process Control)(高度制御)
- AMS(Asset Management System)(計装機器の診断等を行うアセットマネジメントシステム)
- 自動シーケンス
- 最適化システム
- スケジューリングシステム

運転支援システム検討のための業務解析についてもプラントの制御を行なうボード作業を対象にしたものが多く提案され、西谷らによりDCS(分散計装システム)を用いた運転操作の観察と業務の把握方法と運転操作に適した運転HMI(Human Machine Interface)の検討やDCSのHMIの評価方法が提唱されている<sup>(17)</sup>。

知識獲得と伝承に関してラスムッセンは3階層(“スキル”、“ルール”、“知識”)の認識のモデルを提唱している。これをオペレーションの技能・技術伝承に対応させると3階層は技能伝承、技術伝承、知識伝承と考えることが出来る。ワザ・コツ

と称するような内容の伝承は“スキル”の教育と考えられ、技能伝承に分類できる。技術伝承は過去の運転事例からの経験則やSOP（運転手順書）などに記載されている手順・判断基準などに基づく“ルール”、および、プロセス知識・材料知識等に基づいて考察し運転する能力の両者がこれに当たると考えられる。条件変更等の行動や装置の状況把握や解析のような運転業務では物理化学的意味のある“知識”が用いられていて、これも技術伝承の範疇と考えられる。別な観点でみるとノウハウ（Know-How）は“スキル”“ルール”の両面を示していて、ノウホワイ（Know-Why）はその理由を理解するという観点で“知識”と考えられる。

“スキル”は操作の手加減、五感による観察・判定やタイミング等のような事項であって文章での記述は困難であり、多くの場合に経験者の行動を観察して習得するなど自己経験による学習を通じて得ている。このための仕組みとしてOJT（On The Job Training）が適用されているが、効果的な学習には技能と技術の両者の習得が業務能力の定着と発展には必要と考えられている。

## 1. 2 プラントオペレータの育成と教育

オペレータの育成に関しては、業務内容と育成計画を策定している企業が殆どである。その例を示すと、該当プラントでの1年間の新人教育の後、オペレーションチームの定員に加えられ、6年程度まで若手として教育を受けるなどのように、運転者の知識と分担業務所掌によってランク付けするような取り扱いとなっている。

教育方法は以下の分類で考えることが出来る。

- 教育主体：教育センター、配属後の所属部署
  - 教え方：座学（文書その他、教育ツールを使用するものも含む）、OJT
  - 教育内容（レベル）：基礎（汎用的内容）、対象装置に特化した内容
  - 教育内容（操作内容）：非定常（スタートアップ、シャットダウンなど）、定常（計画的定常操作を含む）、緊急時対応
  - 教材：文書、CAI、e-Learning、模擬装置、教育訓練シミュレータ、実機
- プラントの運転に関する教育内容は次の3つに大別できる。

### 1) 装置や安全に関する基礎知識

2) 対象に関する知識（静的な知識（仕様）と動的な知識（挙動））

3) 個々の機器と装置のつながりを基にした運転手順

1)、2)については、新人の教育として教育センターや配属先のプラントで座学を主として実施されている。3)については、OJTで現場作業から開始して運転制御システム（DCS）操作を習得する方法が主に採用されている。連続系プラントでは運転操作において監視や点検業務が大半を占める場合も多い。OJTを有効に実施するために点検要領・操作手順の他に各種の手順書や手引きが作成されているが、プラントの改造が反映されていない場合や整合性を取ることが困難である場合も報告されている。

OJTでは製造現場で実際の装置を用いて教育や訓練が行われるが、生産設備のため教育や訓練内容に制約が存在する。このため機器やプロセスのトラブルなどを自由に作り出せる教育訓練シミュレータが用いられる。教育訓練シミュレータについては、基礎的なプロセスを学習するものを教育シミュレータ、対象プラントの運転に即した内容となっているものを訓練シミュレータと区別して称する場合もある。また、教育の形態・課程によって、主に教育センターに設置される汎用プロセスシミュレータ（もしくはプロセスの一部のシミュレータ）と対象プラントを模倣したカスタマイズドシミュレータに分けられる。後者は対象プラントの運転制御室もしくはその近くに設置され、シフトメンバーのオペレータが容易に利用できるようにしている。国内の教育訓練シミュレータの目的が既設プラントの運転の向上にあるためにこのような形態となっている。一方、海外での新規プラント建設においては、新規採用した新人オペレータの教育に主眼がおかれるため専任インストラクターによる教育が運転開始前6ヶ月程度スケジュールされることが多い。（シフトチームおよび担当プラントエリア毎に教育するため一人当たり1ヶ月の訓練期間が取れない場合も多い）

経産省委託事業である石油プラント保守・点検作業支援システムの開発プロジェクトにおいて、教育に関して、石油会社教育担当及び製造部門にヒアリングを行い技術伝承に関してニーズが調査された<sup>(20)</sup>。ニーズ調査にあたっては、事前に教育内容や現場点検作業の注意点を入手し、教育の必要性をヒアリングした。この結果、教育に関する考え方は多様であり、且つ、その範囲も種々想定されることが判明した。運転状態では、スタートアップ等の非定常業務における運転技術の蓄積にも



関心が寄せられた。この中で教育に関して下記のような調査結果が報告されている。

運転者が、仕事を行うために必要な知識や技能を修得する教育には、職場外で計画的に行われる教育 (Off-JT: Off the Job Training) と職場内で行われる教育 (OJT: On the Job Training) がある。知識・技能習得では、プラントの建設・試運転、スタート、ストップ、緊急事態発生時の処置などの実践を中心としたOJTは特に有効である。また、これらの経験から蓄積された知識・技能や経験者が核となって現在のプラント運転を支えている。しかし、近年では建設・試運転や、操業の安定などによりプラントのスタート・ストップなどの回数は少なくなり、最も教育に役立っていた経験機会が減少してきている。自動制御の進歩に伴う少人化、プラントの統合に伴う作業スパンの拡大、労働時間短縮などの労働条件変更なども教育環境や教育方法を制約している。

一方、OFF-JTは、高圧ガス保安法に対応した形で教育システムが作られて、特に、認定事業所の資格取得に伴う教育体系の整備やシミュレータによる訓練の導入などで改善され効果をあげている。最近では、品質マネジメントシステム (ISO-9001) の認証取得に伴い、運転者の資格認定や力量評価などの要件が明確になり、社内監査や審査機関による審査が教育・訓練においても実施されるようになった。しかし、OJTが知識・技能を習得するための柱であることに変わりはない。教育は、OJT中心に行われる。監督者については、労働安全衛生法に基づく職長教育として、主に安全面からの教育が行われるが、実務については、自己啓発や経験による教育が中心となる。

OJT を用いた教育としては、上述のように技術伝承と技能伝承は大まかには区分出来るが、ある特定の事項を考えると物理化学的理解と体感的経験の両者を必要とするため、習得の効率化という方向から考えると、その境目は必ずしも明確ではない。更に、OJT を効率よく行なうための支援策を作成した場合にも、その中に技術と技能の両者が混在した方が効果的な場合も多いと考えられる。このため本研究においては、技術伝承と技能伝承は区別せずに一纏めとして取り扱うこととし、“技術伝承”と呼ぶこととした。また、習得すべき事項は、運転業務に於いてもラスムッセンの3層の説明を適用すると、スキル、汎用化したルール、知識の3層に分類して検討すべきである。しかし、教育内容のヒアリングを行なった結果、一つの教育内容に対して複数の層の経験を教えていると思われる場合も多く見受けられた。従って本研

究では技術伝承の対象となる経験を 3 層には区別せずに“スキル”と呼ぶこととした。

### 1. 3 本研究の目的

製造業では長年にわたって安全操業の確保と収益性の改善という課題に取り組んできた。石油・石油化学プラントのような連続生産型の装置産業を考えた場合、収益性の改善には SCM(Supply Chain Management)のような原料調達から生産・供給に至るまでの見直しが行なわれる一方で、製造現場では省人化、効率化という課題に取り組んでいる。このような社会背景にあって、近年においては産業事故が増加傾向にあり、その原因の 76%が人的要因であると指摘されている<sup>(4)</sup>。

プラントオペレーションをより安全で確実にこなすための方策についてのアンケート結果として、表 1-1 に示す結果<sup>(5)</sup>がある。最も多い回答は次の二つである。オペレータの教育訓練を行ない、より高度な運転を行えるようにする案と、日勤(昼間の勤務)の時間帯にオペレーション業務に携わる人数を増加させて高度で困難な作業は日勤時間帯に実施する案である。

技術伝承に関してはボードオペレーションもフィールドオペレーションも同様の課題を抱えている。本研究では、より支援システム等の検討が進んでいないフィールドオペレータの教育について考察する。熟練のフィールドオペレータは、プラントの過去の履歴、運転状況、現場環境等を総合的に判断し、マニュアルには表れない経験と勘によって、機器・装置の異常兆候を発見し、安定操業と事故の未然防止に大きく貢献している。この育成は従来から OJT がその大きな役割を担ってきたが、現在のように省力化した環境では人的・時間的制約により熟練者のノウハウの若手への伝達が困難になりつつある。

教育訓練は、プラント設備からは独立して別途設定した Off-JT 教育と、実務(実稼動設備に関わる業務)の機会を活用し知見のある担当者から伝える形式の OJT に大別される。教育訓練に関して下記の課題が存在する。

- 技能・技術の習得についてはスキルを身につけることが推奨されているが、スキルの内容とレベル（高度さ、複雑さ）に関して、技能・技術の内容の定義に人為的な要素が多く曖昧となっている。

- スキルの内容と到達レベルに関して個々のスキルについて対応する教育内容が標準的に設定されていないものが多く存在する。

- 教育用資料/作業内容記述資料は、運転手順に関しては SOP (標準運転手順書) が基本となって、その他に目的毎に作成された運転のポイント集や安全に関する説明、点検要領書などが整備されている。これらはその作成されてきた経緯があると思われる、相互に整合性がなかったり、記述レベルの相違がある。

- SOP が存在しない異常診断や異常時操作などの業務があり、過去の事例等から学習するスキルもある。

- 教育方法は、教材の作製の困難さも要因となって OJT が多用されている。特にフィールド作業の教育は OJT に頼るところが大きい。OJT については有効な教材が少なく効率化/教育の均質化が望まれる。

これらの課題を解決するための一つのアプローチとして、伝承項目と伝承順序の決定、伝承方法と教育資料の作成を考察した。これは、技術・技能伝承教育に関して必要とされる項目および内容の設定と、フィールド業務のための伝承には何が大事かについての伝承内容の設定、伝承方法の策定、評価方法を検討するものである。

具体的には、技能・技術伝承では OJT が重要な役割を果たしているので、以下を考察しつつ検討した。すなわち、OJT の教材作成方法および OJT を視野に入れた育成教育モデルについて考察して、OJT を今後も効果的に実施していくためにはどのようにするか、OJT を行ないながらどのように育成するかについてのモデルを考案し、SOP が存在する業務の教育訓練については SOP の充実（拡大 SOP）を図り、SOP のない過去事例の学習や実稼動装置での作業を通しての業務の伝承のためなど OJT 教育訓練が重要となる場合のオペレーションの組織編成について考察を行なった。

具体的教材の作成について、文章以外の映像などの活用で効果を高める、伝承すべき事項についてその原因や背景に隠れている知識と個々の事象についての整合性のある解釈の付加などが有効であり、下記の検討が必要である。

1. 文書資料による説明の理解度向上方法（マルチメディア（動画等）の活用などによる）。

2. 個々の運転関連説明書の整合性のある作成方法。
3. 運転関連説明書の記述内容の改良と追加。
4. 経験保有者(熟練者など)と教育すべき対象者の組み合わせを考慮した配員計画立案方法。

上記の 4 項目のうち 1 は、すでに西谷ら、西岡らや経済産業省委託事業で検討されている<sup>(12) (18) (30)</sup>。本研究では 2、3、4 について重点的に取り組んだ。

表 1 - 1 不安・課題を解消しつつ少数化していく手段

手段	回答数
自動化（含 IT 技術の活用）、遠隔操作化	13
作業の分散 特定の時間に集中しないように 1, 2, 3 直に分散する	2
作業の集中化 昼間に作業を集中させ、日勤運転員で集中的に対応する	15
作業を区分し、外注できる操作は外注する	8
判断業務を減少させるべく、徹底してマニュアル化する	6
教育訓練による運転技術の高度化	16
その他	1

## 2. プラントオペレーションにおける

### 技術伝承の現状

#### 2. 1 はじめに

石油精製工場や石油化学工場のような装置型産業では、広大な敷地に多くの機械や装置（設備）を用い、温度や圧力などの工程条件を自動制御し、少数のオペレータにより、24時間連続で運転が行われている。プラントの役割は、生産活動を継続し、経済的に製品を供給することであり、安全で環境への影響を考慮して、かつ、安定したプラント運転が第一条件となる。安全操業の面では製造設備について設計段階でHAZOP(Hazard and Operability Study)のような取り組みが行なわれている。保全に関しても安全性を確保しつつ収益性を改善する方法として、予防保全だけでなく予知保全を行う取り組みやRBI(Risk Based Inspection)のような保全方針の見直しが行なわれている。

石油精製プラント等の装置産業におけるオペレーション(運転操作業務)では運転室内のオペレーション(ボードオペレーション)と装置が設置されている現場でのオペレーション(フィールドオペレーション)の両者が重要である。ボードオペレーションには前述のようなIT化と自動化(制御)が進んでいて、装置の状態量を計測して自動制御を行なう仕組みは従来から取り入れられている。IT技術による情報の共有化も進んでいる。近年では計測・測定技術の進歩、及び、DB・データの加工と通信の高速化でモニタリングは多くの可能性を持つようになってきている。プラントの運転状態量・アラーム、生産量や機器の運転状態、計装系の状態も計測されるようになってきている。しかし、現場での操作(バルブの開閉、回転器の起動停止、フィルターの交換などの装置への操作入力)の中でフィールドオペレータの人的作業に依存する部分もかなり残されている。

安定した生産には、“見える工場”という観点も重要な点でありモニタリング(監視)が重要な要素となる。しかし、計測・収集したデータや加工したデータの解釈・それに基づく指示については未だ自動化は困難でありモニタリングし解釈するとい

人間のアクティビティが必要となっている。モニタリングすべきタイミングや点（項目、部位、方法）と解釈・処置という作業を行なっているため人に負うところが大きい。現場でのモニタリングは現場点検パトロールと呼ばれ、フィールドオペレータが五感も使いながらモニタリングしている。従って、オペレータの関与する役割は大きい。このため人的な要素としては安全性を考慮して複数部門による設備の監視によって管理の信頼性を高めることや、効果的な業務遂行と収益性の観点からオペレータが保全業務（点検や軽微な補修）も行なうといった業務のオーバーラップや業務分担の見直しも行なわれている。

現在、生産現場における課題として、2007年度以降に、中核となって現場を支えてきた人々が多数退職することによる「世代交代への対応」と、職場の中に蓄積されてきた「ノウハウや技術の伝承」がある。技術伝承のニーズが高いためボード運転を支援するシステムが提案され実用化されている。他方、現場でのフィールド運転には必要な操作・モニタリング項目は多いがIT化された部分は殆どない。現場での装置の操作や異常の発見はフィールドオペレータに依存している割合が高くフィールドオペレータの日常的な運転操作・保守・点検作業によって維持されている。

## 2. 2 製油所のオペレータに対する実態調査

### 2.2.1 2007年問題

石油および石油化学産業のオペレータ（運転員）の年齢構成は、定年退職が近い集団とプラントが多数建設・試運転された時代以降に入社した比較的若手の集団の2群に分かれているプラントが多いことが報告されている(図2-1参照)<sup>(5)(10)</sup>。このようなプラントが多く見受けられ2007年問題が深刻な課題であることを示している。

### 2.2.2 階層別職務要件

オペレータが習得すべき運転のスキル（知識・技能）を、オペレーション教育の担当者からヒアリングした結果より、「プラントを構成する要素」、「プラントの操業状態」、「階層別職務要件」について抽出したものを以下に述べる。

### (1) プラントを構成する要素からみた項目

プラント運転に必要なスキル項目は、「プロセス」、「設備」、「取扱物質」の三つから構成されることが考えられる。

- プロセス：原料を加工して製品を作る。この加工方法には、物理的に行う方法と化学的に行う方法がある。この二つの操作により、原料は加工されて製品になるが、この過程がプロセスである。製品の製造は、「プロセス」を良好な状態に確保し、機能させることにより安定して行うことができる。
- 設備：製造はプロセスの機能を発揮することにより行われ、機能を発揮させる働きは、設備を運転することで行われる。プラントを運転することは設備を運転することでもある。
- 取扱物質：石油精製や石油化学工場で取り扱う物質は、危険性、有害性のある物質であり、爆発・火災、中毒を起こす危険を持っている。製造する過程では物質の特性に合った取扱を行うことにより安全な製造を行うことができる。

### (2) プラントの操業状態からみた項目

プラントの操業状態を大別すると、生産が計画どおり行われている「定常状態」と、スタート、ストップ操作や緊急事態などの「非定常状態」になる。定常状態におけるオペレータの仕事は設備の点検・監視が主体となる。一方、非定常状態では、スタートやストップ操作のように決められた手順通りに行われるものと、突発的に発生したトラブルなどへの対応への対応処置がある。非定常状態に対する教育は、作業標準、事故事例、或いは事故を想定した防災訓練などで行われる。能力開発に関する要件を体系的にまとめたものが表2-1である。初期の段階で能力開発のために教材として表2-2に示すようにCAIが用いられることが報告されている<sup>(20)</sup>。また、非定常における能力は、経験の有無による差異は大きく、動的な挙動も含めた経験を積むために表2-3に示されるように「トレーニングシミュレータ」を用いた訓練が各社で行なわれている<sup>(20)</sup>。

### (3) 階層別の職務要件からみた項目

オペレータの階層を職能で区分すると、「経験の少ないオペレータ」、「熟練オペレータ」、「監督者」に分けることができる。また、経験年数とも関連していると思わ



れるがオペレータを、担当職務により、「フィールド」と「ボード」に分けることもある。

### 2.2.3 教育体系<sup>(20)</sup>

人の業務については、間違いのない効率的で安全な操作のために支援が必要であり、支援については以下のように分類することが出来る。

- 直接的な支援：指示、操作場所での情報の提供
- 間接的な支援：関連情報の提供、手順書や参考事例の提供
- 人材の育成支援：教育計画と教育材料、教育システムやモーティベーションの向上策

石油プラント保守・点検作業支援システムプロジェクト<sup>(20)</sup>によれば、製油所のオペレータに対する教育は、「一般教育」、「技術・技能教育」、「保安教育訓練」及び「ISO教育」で構成されている。これらの中では、製油所の安全・安定運転の維持を目的とした「技術・技能教育」に重点が置かれており、OJT 及び Off-JT による育成と能力開発が行われている。製油所におけるオペレータの教育体系を図 2-2 に示した。

### 2.2.4 OJT 教育

プラントの運転状態を図 2-3 で示すように区分する考え方もある。運転手順は周囲の状況やプラント内の状態によって影響を受けるため取り得る方法の組み合わせは無数に存在し適切な手順を見出すのは容易ではない。また、特にフィールドでの作業は人間の五感を必要とするため、オペレーションの業務内容は要領書や教育教材に記述するのみでは全てを網羅することが出来ない。このため OJT 教育による育成が実施されている。OJT 教育による育成成果と上述の職務要件を関連付けていることが多く見出される。ボードオペレーションについては DCS 等で運転データが電子的に取り扱えるため運転のガイダンスを設置するなど運転支援システムの利用が増加し技術伝承の内容がシステム化されると共に OJT 教育も行ないやすい環境が整いつつある<sup>(18)</sup>。フィールドでのオペレーションでは人手による作業が多く、また、オペレーションの結果や運転状態の判定を行うための観察(点検)には音・振動・温度・臭いといった五感を活用する動作が必要となっていて OJT がより必要な状況である。

### 2.2.5 Off-JT 教育<sup>(20)</sup>

Off-JT では教材として文書資料以外に、対話型で対象者に適した教材を提示することが可能な CAI やプラントの運転状況をシミュレーションできるモデルを用いたトレーニングシミュレータなどを用いている。石油産業を例にとって Off-JT 教育の実態が調査されているが、その結果は下記のようなものであった<sup>(20)</sup>。

#### ① CAI (Computer Assisted Instruction)<sup>(20)</sup>

近年、製油所では計装の DCS (Distributed Control System) 化をはじめとする制御設備の高度化、保全・検査技術の向上及び設備の信頼性向上等に伴い、装置の長期安定運転が可能となった。この結果、装置の異常発生率の低下やシャットダウン・スタートアップの機会の減少により、オペレータの各種体験機会も少なくなってきた。このため、石油会社では、これを補完するシミュレータによる訓練で下記の項目の修得を図ることとしている。

- スタートアップ、シャットダウン時におけるボード操作の修得と現場への的確な指示
- プロセス変動や運転トラブルに対する的確な対応
- 変動要因が次工程に与える影響等の相互関係の理解と原因究明

また、オペレータの総合的能力や自主保全能力の向上を目指して、CAI による教育が行われている。CAI は、蒸留や伝熱などプロセスの知識やプラントの運転や保守に関わる基礎や応用知識を電子ファイル化したものである。これらの知識は石油会社共通であるため、多くの会社で利用されている (表 2-2 参照)。CAI の使用形態は、会社によって異なるが、個々のパソコンに CD をインストールして利用する方法や、会社のサーバにインストールし、社内 LAN 経由で使用方法がある。CAI は一般の書籍と異なり、知識が動画と音声で説明されているため、学習者にとって理解しやすいという利点があるものの、知識内容が汎用的であるため、各製油所固有の教育課題の解決には限界がある。

#### ② トレーニングシミュレータ<sup>(20)</sup>

製油所で教育用に使用しているシミュレータモデルの導入の一例は表 2-3 のと

おりとなっているが、製油所の装置構成により導入されているシミュレータモデルは異なっている。原油を各石油留分に蒸留分離するCDU（常圧蒸留装置）モデルや製油所内の電気、スチーム等の供給を行うボイラーモデルは多くの製油所で導入されている。これら各シミュレータ操作の講師は各製油所により異なるが、概ね、運転職場の班長あるいは先輩オペレータが担当している。プラント運転の教育訓練用シミュレータの機能および構成等については APPENDIX-A にまとめた。

### ③ 資格取得等<sup>(20)</sup>

製油所オペレータは製油装置等の運転に従事する場合は、下記に示すような資格を取得する必要がある。また、運転経験を経るとともに、自職場に必要なより上級の資格や、公害防止管理者（大気及び水質）の資格を取得する必要がある。（石油プラント保守・点検作業支援システムプロジェクトによる）

- 危険物取扱者（乙種）
- 高圧ガス製造保安責任者（丙特）
- ボイラ技士（2級）

## 2. 3 教育支援ツール

プラント産業分野ではOff-JTとOJTを組み合わせるオペレータの育成を行なっているが、オペレータの作業を容易にしたり確実にしたりするための支援ツールも作成されている。これらのツールには実施すべき作業内容をあらかじめ記録し再現することによって支援する仕組みやボードと現場という離れた場所において情報のやり取りを支援する仕組みのものなどがある。この中であらかじめ作業内容を記録する方式のものは、この内容を見ることによって教材としての効用もあり教育の支援ツールとしても有用である。以下に作業の動画を用いる例と作業内容を登録して表示もしくは自動運転するツールの例を示す。

### (1) ビデオ撮影を用いたツール

具体的事例として、西谷らによる熟練作業者の排水ポンプの ストレーナ切替操作

に係る一連の作業をビデオ撮影したものや、熟練作業者と中堅作業者の遠心ポンプの起動停止操作を比較したものがある。特徴的な作業行動や作業者によって相違がある作業行動について、その理由を作業者へのヒアリング結果や技術研修担当者のコメントに基づき付加して、教育コンテンツとしたものである。図 2-4 は石油化学プラントでの教育コンテンツの例を示したもので、以下の 3 つの部分から構成されている。

- 映像を表示する部分
  - 現場で撮影した全体映像と部分映像の 2 つを表示することができる。
- コメントを入力、表示する部分
  - 映像に対応した時系列の作業内容を表示する部分で、映像を見ながら運転知識をヒアリングし、その結果コメントなどを追加入力することができる。
- 参考資料を表示する部分
  - 関連情報として、写真や図面などを表示することができる。

## (2) DCS ベンダーの運転支援システム

ボードオペレーションを支援するツールとしては横河電機(株)、(株)山武などが各々商品化した Exapilot、Knowledge Power などが導入されている。この支援システムは支援内容を見ることによって教育的効果も期待され、教育ツールとしても有効なシステムである。一例として横河電機(株)の Exapilot は、プラント制御でベテランオペレータが行うプラントの立上げや停止、生産品目の変更等の手動操作や判断、機器の監視などをアイコンを用いたフローチャート形式でコンピュータに入力することにより、自動制御支援プログラムを簡単に作成することができるパッケージソフトウェアである。

当該ソフトウェアについて、作業項目の作成と関連情報の取出しが容易にできるかどうかについて検討した結果(図 2-5 は、当該ソフトウェアのインタフェースを使用して「ポンプ点検」の作業項目をフローチャート形式に表記した例を示したものである)、次の 2 点を確認することができた<sup>(20)</sup>。

- 作業項目を登録し、予め登録した個別の単位となっている作業項目の間を接続し、一連の行動を記述することがプログラムを作成するのに比して容易であること。
- 各作業項目から、それに関連する画像を含む教育コンテンツを登録し、これを

使用者が呼び出すことがプログラムを作成するのに比して容易であること。

## 2. 4 化学産業におけるスキル教育の問題点

各企業は独自にオペレータの育成計画をもっていて、これにしたがって教育・訓練を実施している。スキル教育プログラムは、企業内監督者訓練<sup>(6)</sup> (TWI: Training Within Industry for Supervisors) の「仕事の教え方 (JI: Job Instruction)」などを参考にして作られている。一般の製造業における作業指導では、事前に教える側が以下のものを準備することになっている<sup>(7)</sup>。

(1) 対象の作業を分解して、主なステップを列記する。

班長などが実務で自分がやっていることを振り返り、作業の大まかなステップを書き出す。頭の中でやると抜けが出たり、教育に支障をきたしたりする。自分が教育のために使うもので、メモ程度でよく、一般に「作業分解表」と呼んでいる。

(2) 急所を取り出す。

各ステップの急所を取り出す。ここで急所とは、「成否」、「安全」、「やり易く」の3点から特に注意を必要とするポイントを意味する。「成否」はその仕事を出来上がらせるかだめにするかを左右するもの、「安全」は作業者が怪我をするおそれがあること、「やり易く」は仕事をやり易くするもので「勘」とか「こつ」などが含まれる。

(3) 教えることを決め、教育予定表を作る。

「だれに、どの作業を、どのレベルに、いつまでに」を決め、教育予定表にまとめる。使用する資料を準備し、教育項目や教育日程を決める。他の人や他の部署に依頼することがあれば予約する。必要に応じて、教育場所、器材を予約する。

石油や化学などの装置産業では、(1) の「作業分解表」は、一般的な作業指導のための資料以上の意味をもっている。すなわち、安全・環境の視点から上司による承認が行われ、レベルの違いはあるが遵守すべきものとしての位置づけをもっている。

る。それゆえ、標準作業手順(SOP: Standard Operational Procedure)と普通呼ばれている。この「標準作業手順」の内容にも、簡略なものから詳細なものまで、職場によっていろいろなものがある。標準作業手順は原則としてプラント建設時に作られることが多いが、その後の実操業において加えられた大小の変更を逐次更新し厳密に管理することは難しいといわれている。その理由は、これまで使われてきたハードコピーでは文書の書き換えが煩雑であることも一つの理由と考えられる。この点は汎用の文書管理ツールを導入することによって改善できる可能性がある。

(2)の各ステップの「急所」は作業に含まれるリスクとの関係が深い。多くのノウハウやノウハウイがこれに関係している。これらは現場作業の技術・技能の伝承においても最も重要な部分である。(3)で作成される教育予定表の中で用いられる資料もいろいろあり、各資料中の関連事項についての整合性が必要である。実際に行われた作業の観察結果をフィードバックすることも教育資料の一つとして重要である。また、オペレータの理解度に合せた適切な教材も教育効果を高める。これらの要望に応えるため、現場作業 OJT のための教材開発プロセスの現状をまず調べた。

## 2. 5 現場作業 OJT 教材開発プロセス

プラントにおいては装置やパイプの中が見えないため、その中身や状態を計測データから推測する能力やその情報に基づいた適正な判断・操作が要求される。すなわち、業務の基本である標準作業手順の遵守や、各動作に潜在しているリスクを十分理解して作業しているかどうか重要であり、これらをチェックすることが必要になる。このためにもプラントの現状に即した「標準作業手順」が必要になる。

プラントの現状に即した「標準作業手順」を起案するのは一般にプラント運転の第一線を担当している係長または班長である。その後、課長の確認、部長の承認を経て、最終的には部門長(製造部長)が責任を持つのが一般的である。この「標準作業手順」の起案では次の資料が必要になる。

- (1) プロセスのフローシート (PFD および P&ID)
- (2) 操作解説用の詳細図 (管系図の 3次元表示(スプール図など)、2次元表示)

- ( 3 ) (もしあれば) 既存の標準作業手順書
- ( 4 ) (もしあれば) 実プラントでの操作のビデオ映像

## 2. 6 教材作成のアプローチ

教材作成のための内容については本来はプラントの装置の作動原理から導出されることが理想的である。実際にはプラントの特性を全てモデル化することが困難であるため、以下のような方法によって必要な内容を集めることとなる。

- 対象のプラントについての開発から設計に至る過程で用いられた知識から得る。
- 設備稼働中にオペレータや技術スタッフが得た経験から得る。
- 熟練した担当者がどのように行動するかを観察して得る。

### 2.6.1 設計知識からのアプローチ

プラントの設計ではプロセスの開発から装置の設計にいたる知見が設計図書として纏められる。設計においては、定常状態における物質・熱収支と運転条件の他に反応などのプラントの操作限界、機器の設計条件が定められる。また、スタートアップ、シャットダウン、緊急停止の方法も考慮されて設計が行なわれている。これらの情報を用いて SOP (運転手順書) が作成される。SOP はプラント構成やボードおよびフィールドオペレーションの両方について記述しているためオペレーションの教材としては基本的なものとなる。

### 2.6.2 運転経験にもとづくアプローチ

プラント完成当初は設計と同時期に作成された SOP に基づいた教育教材も以下のような観点から増強されることとなる。

- 使用目的にあわせて、新人教育資料、定常作業、非定常作業、KY (危険予知)、リスク検討などの複数の図書が作成され、各々に対する教育資料となる。
- 実運転により新たに見出される経験も多く、この内容を教材に反映する。
- 装置の改造などの理由によって変化した部分を反映する。

現在のプラントで保有している各種のオペレーションのための指針や手順書の文書情報から熟練者の経験を拾い出し、OJT 支援教育教材を作成するには、既存の各種文書情報を一つの軸で合成してオペレーションの流れとして考察することが解決策となるのではないかと考えられる。これについては第 3 章で取り扱う。

### 2.6.3 行動観察によるスキル抽出アプローチ<sup>(17)(19)(29)</sup>

オペレーションに関する教材は上述のように設計および生産活動を通じて得た知見を基に各担当者が作成している。また、運転支援システムの多くはオペレータの業務の中で運転室における作業（ボード操作）を主に支援するものである。プラントのフィールド（運転室外の装置が設置されている現場）におけるオペレータの作業を把握し業務の支援と技能・技術の伝承を考える試みもなされている。オペレータの業務を把握する方法の一つに人間工学的なアプローチがある。これはオペレータ行動の中から有意な内容を抽出する仕組みがデータマイニング的な手法となっている。オペレータの行動を記録することにより、暗黙知となっている部分を伝えられる形に取り出すと共に、教材にはより理解しやすいように映像や姿勢のデータを用いる。このアプローチではオペレータの行動が把握できるために、熟練者にヒアリングしただけではわからなかった経験が聞きだせる。これについては APPENDIX-B にまとめた。

## 2.7 まとめ

人材育成では、コストと対象の多様さや複雑さから OJT が採用されている。しかし、OJT に用いる適切な教育資料とその効率的な作成方法が少なく、また、OJT についての支援の仕組みも殆どない。本章では、プラントオペレータに対する教育の状況を先行研究で行なわれた調査をもとに概観した。この結果、教育の中で OJT の占める割合は高く、これを実施するための教材は種々考えられているが未だ不足している。また、教材が目的毎に個別に独立して作成されている傾向がみられる。OJT においては人からの技術伝承が主体となるため、その支援に多様性が求められ、支援を作成する仕組みが少ないこともわかった。このことから、オペレーション能力



を向上させるためには、必要な技能・技術を特定すること、その能力アップの育成計画(スキルレベルの目標と標準年数)、教育方法(教え方と場所)、教材等について更に改善していくことが重要と考えられる。

表 2 - 1 能力開発の概念表

プロセス	正常運転操作	異常対応	技術基準の理解と適用
設備	日常点検	設備診断 補修・工事	予防保全 定検検査
取扱物質	危険性、有害性 取扱の基本	爆発・中毒防止 品質・安全管理	緊急事態対応 品質・安全管理
対象 職能要件 作業形態	[オペレータ] 基本技能の習得	[熟練オペレータ] 運転技能全般の習得	[監督者] 専門力、指導能力 の習熟
平常運転	定常業務の遂行	運転状況の把握	運転全般の管理
スタート・ストップ <sup>o</sup>	基本的な操作	応用性のある操作	統率力、調整力
異常処置	異常内容の認知	異常対応処置	原因把握と処置
緊急停止	基本的的な処置	応用性のある処置	安全確保・指揮

表 2 - 2 C A I 導入例 (コース名抜粋) <sup>(20)</sup>

蒸留の基礎	制御の基礎
伝熱の基礎	シーケンス制御の基礎
反応の基礎	腐食・防食技術
機械要素の保全	シール技術
電気設備の基礎	ボルト・ナットの締め付け調整
バルブの知識	熱傷薬傷災害の安全知識
電機の保全	爆発火災の安全知識
計装の保全	はさまれ・巻き込まれ災害の安全知識
回転機器の保全	ヒューマンエラー防止のための要因分析
電気の基礎	設備の基礎：機械要素編
配管の知識	設備の基礎：回転機器編
ポンプの基礎	設備の基礎：実力診断問題集 機械要素
圧縮機の基礎	設備の基礎：実力診断問題集 回転機器
振動法による設備診断技術	設備の基礎：実力診断問題集 電気

表 2-3 シミュレータモデル導入例<sup>(20)</sup>

製油所名		A	B	C	D	E
導入シミュレータモデル	CDU(常圧蒸留装置 Std. タイプ)	○	○	○	○	
	CDU((常圧蒸留装置 New タイプ)		○			
	DFR(2 塔式蒸留塔)			○	○	
	Reformer(ガソリン改質装置)	○				
	CCR Platformer (連続再生式改質装置)					○
	FCC (流動接触分解装置)	○	○		○	○
	RFCC (残油流動接触分解装置)		○	○		
	HDS (脱硫装置)			○	○	○
	Isomax (間接脱硫装置)	○	○			○
	HPU (水素製造装置)			○		
	Boiler (ボイラー)	○	○	○	○	

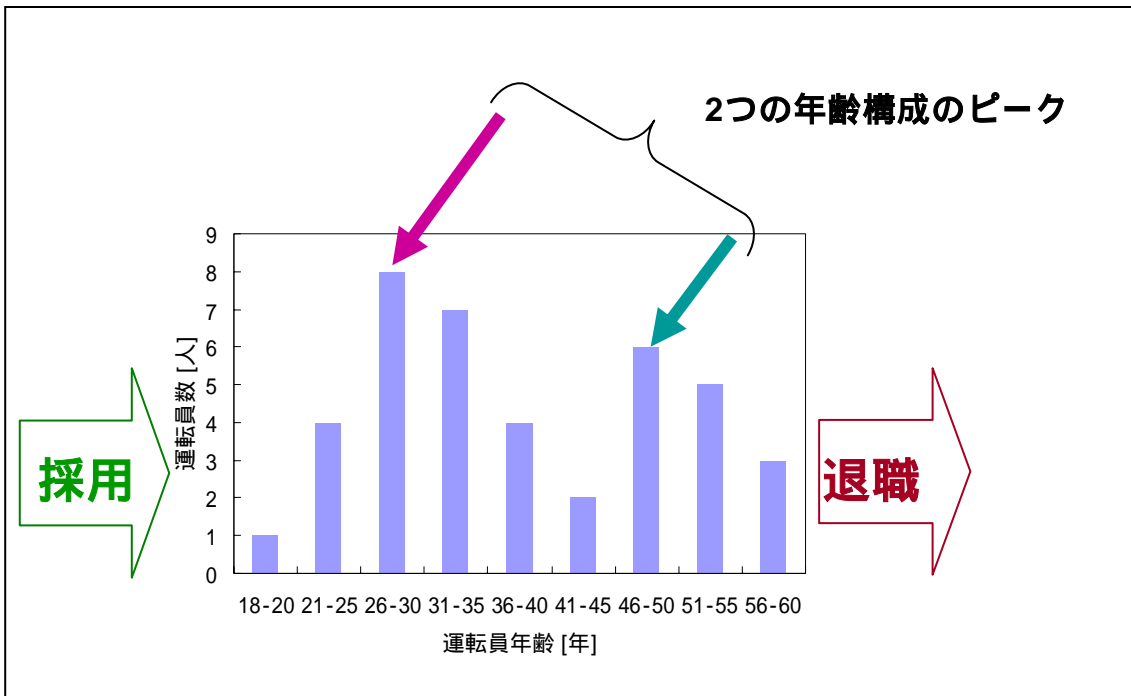


図 2 - 1 オペレータの年齢分布の例<sup>(10)</sup>

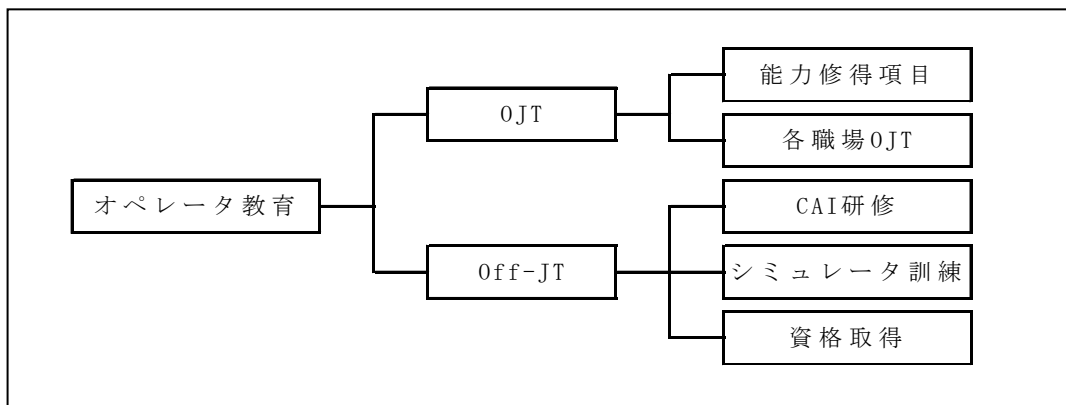


図 2 - 2 製油所オペレータの教育体系の概略<sup>(20)</sup>

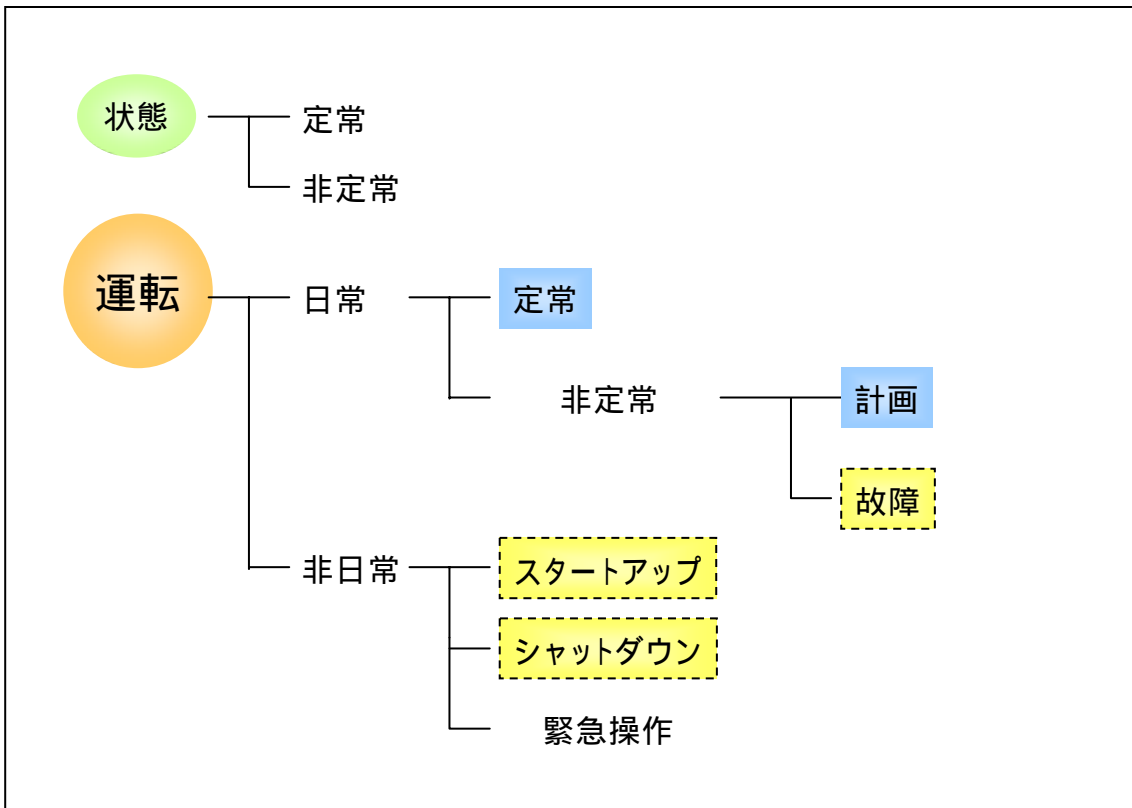


図 2 - 3 プラントの状態と運転の分類

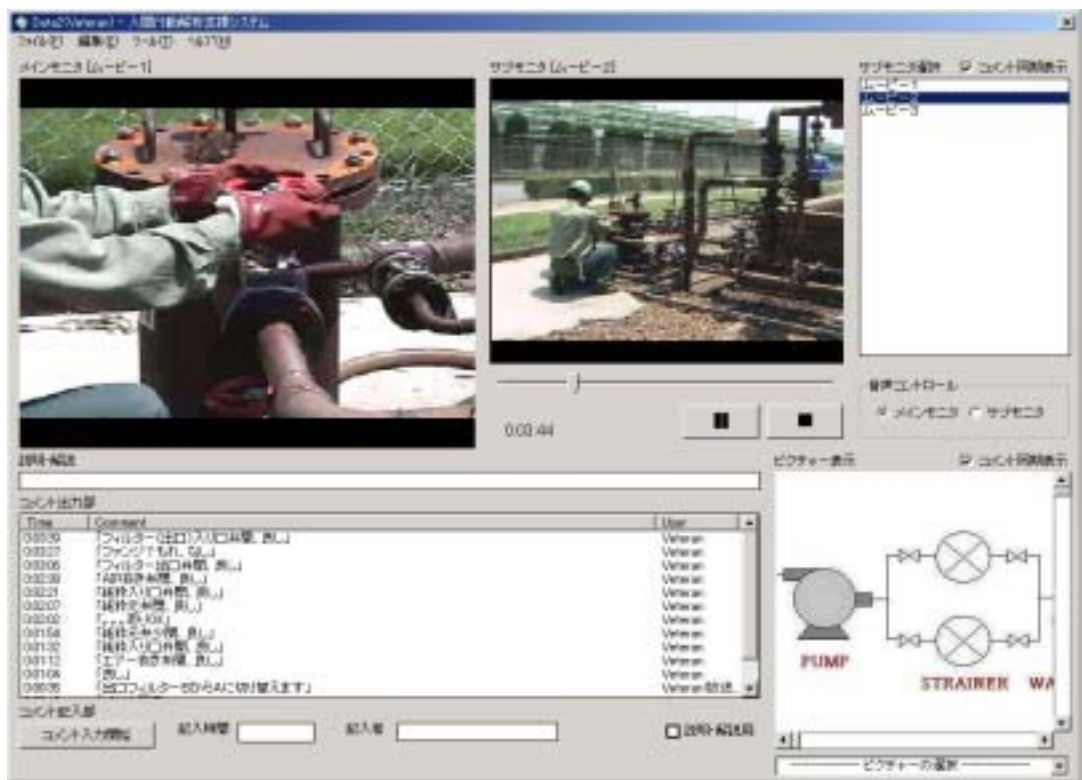


図 2-4 石油化学プラントでの教育コンテンツ例<sup>(12)</sup> (20)

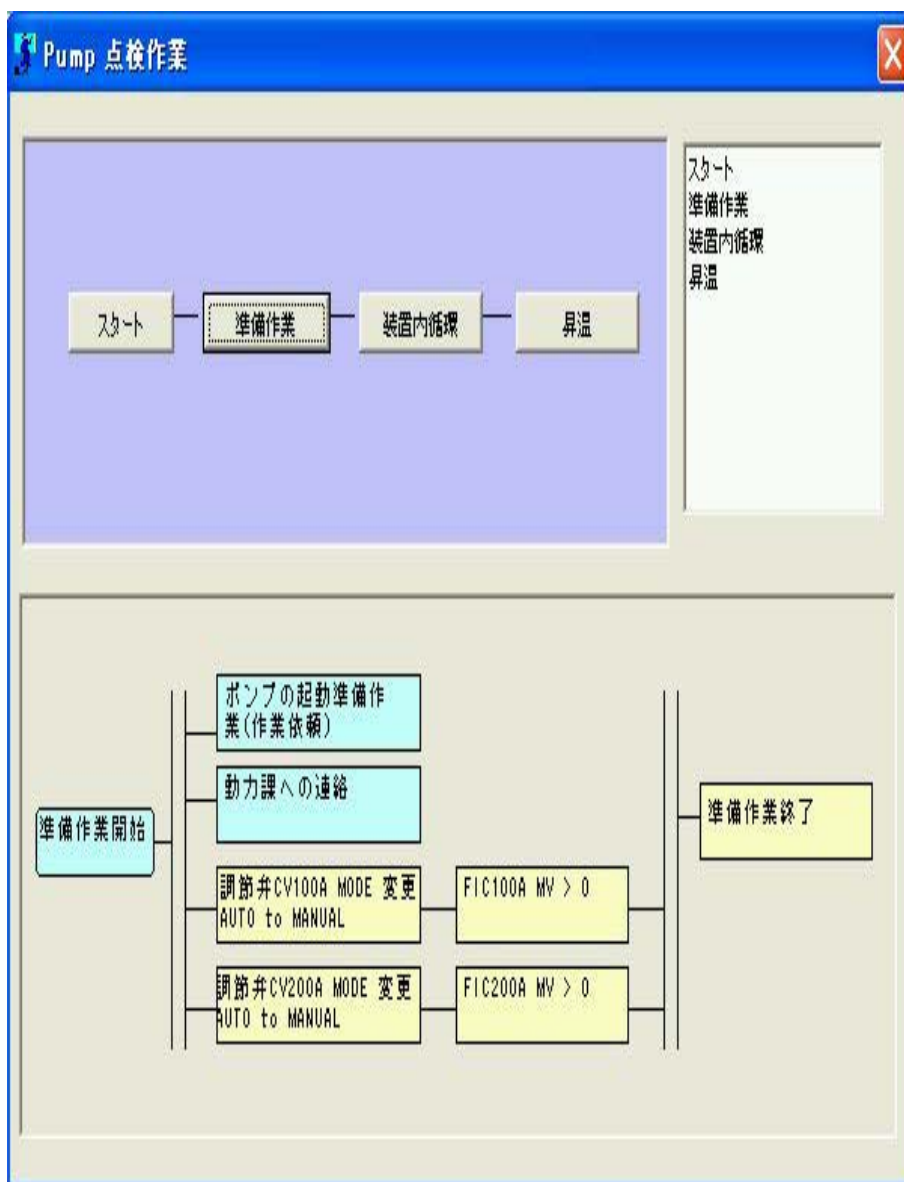


図 2 - 5 フローチャート形式表記方法の例<sup>(20)</sup>

## 3. フィールドオペレータのための OJT 教材開発

### 3.1 はじめに

近年定期修理の頻度が少なくなり、連続運転される期間が 1-4 年と長くなるに伴い、オペレータがプラントのスタートアップやシャットダウンを経験する機会が少なくなった<sup>(6)</sup>。プラントでのトラブルの多くは非定常時に起こるといわれていて、スタートアップやシャットダウンは運転技術の伝承の絶好の機会であった。それゆえ、実プラントでの OJT の機会が減ったことによって、プラント運転のノウハウなどを新人に伝えるのが難しくなっていると言われている。しかし、プラント運転における OJT の重要性が減ったわけではない。

これまで OJT の多くは職場責任者に任されてきた。職場責任者は標準作業手順の簡易版を作ったり、リスクの高い作業の対処方法をまとめたりして OJT を行ってきた。場合によっては、作業を理解させるための問答集を準備したり、スキルを評価・認定するための表なども作ってきた。これらの個々の教材の作成には手間ひまがかかる。一方では、計器室統合などによって職場責任者の守備範囲が増えていて必要とする知識量も増えているという現状がある。

また近年、各社が ISO-9001 の認証を積極的に取得するようになった。この規格では、教育・訓練の要求事項として、「業務に必要な能力（力量）を明らかにすること」が求められている。この力量を認定するため、判断の根拠となる客観的な基準が必要となる。一方、現場では少人化による一人作業の増加や外注化により一人一人の能力を明確にすることが求められている。このような背景からもスキルをきっちり評価・認定することが求められている<sup>(7)</sup>。

知識集約型の業務が主なプラント運転において、業務の基本である標準作業手順の遵守や、各動作における潜在的なリスクを十分理解して作業しているかどうかの判定は基本的に重要である。また、標準作業手順から逸脱するような問題点が見つかったとき、その原因を分析して、手順書の見直しや、場合によっては設備の見直しをする必要がある。

プラントにおいては装置やパイプの中が見えないため、その中身や状態を計測データから推測する能力、その情報に基づいた適正な操作が要求される。このような



事情から、OJT のため有用な教材の作成プロセスを調べるとともに、関連情報を整理する方法について考察した。

本研究では、実際に現場でどのように「標準作業手順」が作られているのかを確認するため、プラント運転および技術研修の長年の経験があるエキスパートに、われわれの目的を説明して、OJT 資料の作成を依頼し、それに基づいて OJT 教材作成を検討した。

### 3. 2 現場作業 OJT 教材の作成：ケーススタディ

#### 3.2.1 ケーススタディの概要

現在使われている教育支援ツールについて、石油化学プラントの教育担当者からのヒアリング結果を職場外教育および職場内教育にわけて表 3-1 および表 3-2 にまとめた。運転に関する記述は目的に応じて種々の文書にまとめられているが、その中心となるのが SOP(標準運転手順：Standard Operation Procedure)である。これは主に非定常操作のシーケンスと定常運転時のプラント状態変数について記述されている。監視・点検作業の中で、フィールドオペレータが行なう現場パトロールについては、パトロール点検表としてまとめられることが多い。表 3-3 に現場点検作業の点検箇所や点検項目についてのパトロール点検表を一例として示す。点検については特定の機器や特定の点検順序が明記されるのではなく一般化した形で記述されている。

本研究では OJT 教材の作成方法を検討するために具体的な対象を設定してケーススタディーを行なった。ある小さなプロセス(廃水ストレーナーの切替)を対象に、エキスパートに現場作業の OJT に必要と考える教材を作成してもらった。今回の資料作成は、既存の標準作業手順書は使わずに、自分の知識と経験に基づいての作成であった。また、以前に収録したストレーナー切替作業のビデオ映像があったのでこれも使った作成となった。このビデオ映像は、ノウハウおよびノウハウの抽出実験のために収録したものである。作業の映像は OJT 資料作成でも大いに役立ったとエキスパートは述べている。

まず、切替作業を行う 2 基のストレーナー周りの管系図が描かれた。図 3-1 に

書き直したものを示した。この図には操作対象となる弁がすべて表示されている。続いて、エキスパートは現場作業 OJT 教材の基本となる「標準作業手順」をはじめとする 6 種類の資料を表形式で作成した。これらの 6 つの表は本章の後にまとめて挿入した。以下に各表の特徴について説明する。

### 3.2.2 エキスパートが作成した資料

表 3-4：標準作業手順書に相当する表で、作業を大きく分割したマクロなステップ名と各ステップを構成するマイクロ項目（作業内容）を列記したものである。一般的な作業分解表に倣って、作業内容に対応させて急所（ノウハウ・ノウハウイ）も追加されている。

表 3-5：標準作業手順にある作業内容の中で、リスクの大きなものについて具体的に潜在危険（リスク）を列挙した表である。各リスクについては、その所在（プロセス、設備、人体、環境）の別、想定される異常事象、回避処置が記述されている。

表 3-6：標準作業手順にある各作業内容について、診断・認定欄をもうけたもので、すべてのマイクロ項目（作業内容）をもれなく評価するものである。個々の作業内容だけでなく、作業全体の重要注意事項についての診断・認定欄も追加されている。これらの事項は、総合的に作業を評価するのに用いられる。作業診断用スキル表とも呼ばれている。

表 3-7：装置機能、作業準備、作業内容、結果確認について理解度をチェックするための質問事項を表形式にまとめたもので、作業理解度チェック表と呼ばれている。参考のため、解答も書いてもらった。

表 3-8：作業前、作業中、作業後に分けて重要チェック項目を列挙したもので、一連の作業をもれなく、正しく行うために確認用として用いられる。作業時確認用チェックリストと呼ばれている。

表3-9：現場作業のビデオ映像をみて、標準作業手順にある各作業内容についての評価やコメントを書き込んだ表である。また、重要作業の内容を簡潔に表示するため、確認事項、弁の開閉、操作室への連絡などを、表中のセルに記入する工夫がされている。これらは弁の開閉状態を確認したり、作業の流れをつかむ上で役立つ。オペレータの行動解析結果はOJT教材へ次のようなフィードバックが考えられる。

- もし熟練者の行動解析などから暗黙知となっている重要事項が顕在化できれば、形式知として標準作業手順に取り入れる。
- オペレータの行動を観察することによって、リスクの高い作業内容に対して適切な行動がとられているかの判定をしたり、場合によっては適切な指示がなされているかを調査する。
- オペレータの行動解析によって、ヒューマンエラーの起こりやすい作業内容が明確になれば、現状の作業手順を見直すなどの改善に役立つ。
- リスクの高い作業内容やヒューマンエラーの起こりやすい作業内容については、注意事項を作業開始前のツールボックス・ミーティング（TBM）でのワンポイントアドバイスなどにまとめて、作業前に注意喚起する。
- 事故事例があれば、①起こった事象、②その原因、③再発防止対策、④現場への具体的アドバイスのように、要点を1枚にわかりやすくまとめた教材を作成する。

### 3. 3 時系列表を用いた資料の整理

表3-4（標準作業手順）、表3-5（各作業のリスク評価）、表3-6（作業診断用スキル表）、表3-7（作業理解度チェック表）の一部、表3-9（オペレータ行動解析シート）を、標準作業手順のマイクロ項目（作業内容）を共通の軸とする一つの表（表3-10）にまとめた。これは資料に含まれるすべての項目欄について関連性を考慮して並べ替えたものである。表3-10では左から次の順序で各項目を並べている。ステップ番号、ステップ名、マイクロ項目番号、作業内容、急所、潜在危険（リスク）、想定される異常事象、回避措置、作業対象機器、確認事項、各種弁の開閉、操作室連絡、スキル診断月日、スキル認定日、ビデオ映像時刻、映像へ

のコメント、備考となっている。順序は使いやすいように変更すればよい。新しい欄が必要ならば適当な位置に挿入すればよい。作業に関するほとんどすべての情報を記入したこの表を「拡大時系列表」または「拡大SOP表」と呼ぶことにする。

このようにして1枚の表にまとめられた標準作業手順関連情報は抜けや落ちがないように検証する必要がある。この表は、エキスパートによってOJT教材として個別に作成された数種類の表の整合性を調べるのに役立った。エキスパート本人でも他人でもチェックするのに使える。エキスパートといえども、用語の不統一や、内容の欠落は起こる。これは資料の使用目的によって、人間が想起する内容が選択されることにあると考えられる。

エキスパートが当たり前として記述しなかったことも、初心者や素人の学習の躓きになることがある。別人によるチェックが必要な理由である。標準作業手順の最終チェックは実際に使ってみることである。初心者に使わせると改善点が見つかる場合も多い。

このようにOJT教材作成の過程で、作業内容の追加や修正、その他の変更が起こる。時系列表で管理すれば、このような変更に対応できる。たとえば、エクセルのような表計算ソフトを使えば、容易に追加や変更が出来る。また、目的に応じて必要な欄のみを取り出して印刷すれば、整合性が保証された過不足のない適切な教材を簡単に作ることが出来る。このように「拡大時系列表」は現場作業を集約したものとしての役割をもつ。

一方、表3-7（作業理解度チェック）の一部と表3-8（作業確認用チェックリスト）のチェック項目について、時系列表のマイクロ項目（作業内容）を対応づけることができる。これによって全体の作業の中での位置づけが明確になり、理解も深められることが分かった。また、チェック項目にある内容が時系列表で抜けていたり、用語や表現の不統一などを見つけるのに役立った。

### 3. 4 OJT教材開発プロセスの提案

OJTのために有用な基本教材の作成プロセスを調べるとともに、関連情報を整理する方法について考察した。また、現場操作の映像を用いたオペレータの行動解析をOJT教材作成に役立てるための方法についても検討した。これらの結果にもとづいて、

最後に、標準作業手順をもとに作成する拡大した時系列表を用いた OJT 教材の開発プロセスを提案する。

前節の資料整理を通しての考察から、OJT 教材開発プロセスとして以下の一連の方法を提案する。

- (1) エキスパートによる各種 OJT 資料の作成
- (2) 拡大した時系列表の作成による抜けや整合性のチェック
- (3) チェック事項の時系列表との照合
- (4) 現時点での時系列表の完成
- (5) 目的に応じた OJT 教材の作成のための時系列表からの切り出しと印刷
- (6) 標準作業手順の使用と検証
- (7) 時系列表の更新

(1) は班長などの作業に精通しているエキスパートの仕事である。(2) - (7) はエキスパート本人がやってもよいし、場合によっては教材開発を担当する人（暗黙知を取り出せるナレッジマネジャーが望ましい）がやってもよい。表 3-11 はチェック済みの時系列表から切り出した「標準作業手順」である。この表では、オリジナルの表 3-4 でなかった「作業準備」をステップ 0 として追加した。また、「通液」と「スタンバイ」のステップに、作業の徹底を図るためのマイクロ項目を追加した。このように項目が補足され、用語の不統一も修正された。

重要なことは OJT 教材作成の能率を上げることである。提案した方法は、エキスパートの負担を減らしてスキル教育の効果をあげることが期待できる。

### 3. 5 追加資料についての考察

提案した OJT 教材は時系列的に操作を運転操作を考察し統合的に表すことができたものであるが、元になる教材の中で、例外処理の記載は少なかった。従来あまり手順にミスが発生した場合の対処が記載されていないことに起因すると考えられる。

例外処理に関しては、以下の点がある。

- コンピュータソフトや家電製品の操作マニュアルではよく記載されている。

- 例外処理の記述形式として、本文中（SOP 中）に加える形式と別途作成する形式がある。

- 記述内容分類として階層化が考えられるが、そのキーとして、重要度・対処内容・発生頻度のようなことが考えられる。

プラント運転の SOP では、例外処理として記載されているものは、プラント稼働中の異常（故障・異常反応・破損）などであり、対処方法が記述されているが、他方、運転の操作ミスや見落としについての対処はあまり記述されていないと思われる。

これに対しては、手順にミスが発生した場合の、対応方法を分類し提示することによって、人的ミスによる損害を減少させることが出来ると考え下記を提案する。

#### （1）操作ミス対策

手順ミスの与える影響を、手順ミスのリカバリー方法を分類し、運転の難易度として SOP に付加する事によって運転手順の記載内容と伝承範囲の拡充を図る。操作ミスについては下記の観点で評価する。

- 復旧の難易度
- ミスによる損失（経済的（原料や製品ロス、操作労務費、生産遅れ））
- 安全面（事故、災害）

ここでは、復旧の難易度の評価について考察する。

#### （2）復旧の方法

たとえば、機器の操作の一つポンプの切り替え作業では次の手順が決っている。

①→②→③→④→⑤

ここで、①吐出弁閉 ②サクション弁閉 ③フィルター液ドレーン開  
④フィルターガスベント開 ⑤フィルター開放 である。また、プロセス（機器群）の運転手順の例として、パージ（停止操作時）の手順も決っている。

①→②→③→④→⑤

ここで、①系の隔離 ②脱圧 ③窒素パージ ④スチーミング ⑤エアパージ ⑥開放

今ある正規の操作手順が、①→②→③→④→⑤ であるとする。操作を開始して、

②の実施後③を忘れて④を実施したとする。このとき、対象プロセスや機器によって戻し方（対応方法）は異なるが、次のような復旧方法が考えられる。

復旧方法 1：④の後から③を実施する。この場合は③④の操作順は並列であってよいがコストもしくは操作の負荷という理由で③④の順番が決まっていたと考えられる。

①→②→④→③→⑤

復旧方法 2：④を元に戻してから③を実施する。

①→②→④→④元→③→④→⑤

復旧方法 3：ミスのある操作の一つ前の操作から再度実施する。②と④の先行順によって 2通りの戻し方が存在する。

①→②→④→②元→④元→②→③→④→⑤ または、

①→②→④→④元→②元→②→③→④→⑤

復旧方法 4-1：標準手順とは異なる操作 ⑪, ⑫を行なう必要がある場合はつぎのようになる。

①→②→④→⑪→⑫→③→⑤

復旧方法 4-2：標準手順とは異なる操作⑪, ⑫を行ない④も再度行なうような場合もある。

①→②→④→⑪→⑫→③→④→⑤

### (3) 復旧方法の評価

復旧方法 1 から 4 の選択に必要な判断材料は装置の物理的特性に因る。また、ある手順番号で、逆の動作を行なった場合（中間位置のものを閉める代わりに開けてしまった等）や、動作速度（速すぎる、遅すぎる）なども考えられるが、ここでは、開-閉もしくは ON-OFF の状態しか考慮しないこととする。評価として、対象となる操作の難易度を 3 段階とし、下記のように復旧方法 1 から 4 に対して次のような難易度に関する評価が考えられる。

難易度 低 （復旧方法 1、復旧方法 2）

難易度 中 （復旧方法 3）

難易度 高 (復旧方法 4)

別の例として、逆操作をした場合について考える。正規の手順を①→②→③ と、する。操作を開始して、②で操作方向を逆にした場合の復旧方法について考える。

復旧方法 1 : ②を元の位置にもどす。

①→②逆→②元→②→③

復旧方法 2 - 1 : 1 ステップ前に戻り、①を先に戻す。

①→②逆→①元→②元→①→②→③

復旧方法 2 - 2 : 1 ステップ前に戻り、②を先に戻す。

①→②逆→②元→①元→①→②→③

復旧方法 3 : 標準手順とは異なる操作である⑪, ⑫を行なう必要がある場合は次のようになる。①→②逆→⑪→⑫→②→③

これらの復旧方法についても例えば次のように評価を与えることができる。

難易度 低 (復旧方法 1)

難易度 中 (復旧方法 2)

難易度 高 (復旧方法 3)

上で示したような復旧操作の難易度を運転手順の中の項目に付加することによってオペレータの注意を促すことができる。また、このような分析をすべての機器操作に適用し、教材として取り込むことによって、ヒューマンエラーへのバックアップが整備され、安全運転に役立つことが期待できる。

### 3. 6 まとめ

本章では、種々の教育目的に合わせて個別に作成されている教材について、OJT で使いやすくするという観点から見直した。その結果、運転操作を時系列的に総合的に見直すことによって、網羅性と整合性のある教材が作成できることを示した。この総合的な資料を作成するには、対象となるプラントについての経験と知識を保有



した関係者がその任に当たる必要がある。本章で提案した表を作成する過程で、それぞれの資料作成過程では見落とししていた事項や作業区分の曖昧さが修正される可能性が高いことがわかった。またその後、同一データベースから目的別に資料を作成することができる。例えば、新人向けにオペレーションの基本的事項のみを残し他を削除した資料を作成しても他の資料との整合性が保たれる。このように必要とされる種々の教育目的に合致したフィールドオペレータの OJT 支援のための教材の作成ができることを示した。

オペレータのスキルレベルの区分と条件を明確にしたうえで OJT の教材が整備されると、各オペレータのスキルアップの実施体制も検討しやすくなり、OJT 職能要件に沿った教育訓練が可能になる。その結果、スキルアップに要する時間の短縮も期待できる。このように教材を有効に用いてオペレータのスキルアップを考慮した育成計画を検討するには、オペレーションチームの構成を中長期で計画し運用する必要がある。すなわち、OJT の実効をあげるにはオペレーションチームとしての機能を保ちながら OJT も同時に実施できるオペレーションチームの配員計画が重要となる。次章ではこのようなオペレータ配置計画を検討する。

表 3 - 1 職場外教育 (Off-JT) における教育ツール

教育項目	方法	教育ツール
階層別教育	講義 グループ活動 発表	講義資料 (特に指定なし)
環境・安全教育	K Y 演習・訓練	指定資料、ビデオ教材
	防災訓練	爆発実験装置、消火設備
品質教育	統計手法演習、講義	自社テキスト
工務技術教育	講義 実習	実機 カットモデル、ビデオ、C A I
	測定 診断実習	マシンチェッカーなどの測定器
基礎技術教育	講義 演習	シミュレーター
シミュレーター訓練	訓練	トレーニングシミュレーター
社外派遣教育	—————	—————
資格取得試験	公的試験の受験	—————

表 3 - 2 職場内教育 (OJT) における教育ツール

教育項目	方法	教育ツール
新入社員・転入者教育	講義 現場実習	新入社員教育資料、プラント固有の教育資料
定常作業	講義 現場実習	[手順類] 作業標準、技術標準、取扱説明書、MSDS
		[図面類] P & I、PFD、機器配置図、機器構造図、ブロック線図
		「技術資料」 設計基準、安全性評価、品質システム文書
		[規定・法令] 就業規則、保安諸規定 労働安全衛生法、高圧ガス保安法、消防法
		[社内テキスト] 技術資料工務技術教材 基礎技術教育テキスト
非定常作業	検討会	[事例集] 事故報告書、トラブル事例、 災害報告書、社外事例
KY訓練、PKY訓練	訓練	社内テキスト、事故報告書
防災訓練	訓練	防災訓練資料 (想定原因・現象・処置)
実務教育	実務	運転記録、申し送り簿、マテバラ、ヒートバラ、日報、月報



表3 - 4 標準作業手順書

	ステップ	作業内容	急所
1	切替準備	操作室へ切替作業実施を連絡	
		予備フィルターを準備	
		空気抜き用ホース取り付け	
		送液流量確認	
2	A - 水張り	エアー抜き弁開	
		純水入口弁開	
		純水元弁少開 よし	
		空気抜きホースからの排水確認	
		純水元弁閉	
		純水入口弁閉	
		エアー抜き弁閉	
3	A - 加圧・漏れチェック	フィルター出口弁 開	
		シール部漏れ点検	
4	A - 通液	フィルター入口弁 開	Aフィルターをラインに接続(A B並列)弁操作は流量に急激な変動をあたえないようにゆっくり行う。使用フィルター：(B) (B + A)
		LCV開度	
5	B - 停止	フィルター入口弁 閉	使用フィルター：(B + A) (A)
		LCV開度	
		フィルター出口弁 閉	
6	B - 抜圧	ピットブロー弁 開	
7	B - 水洗	純水入口弁 開	カバー開放時、被液や汚損を避けるため廃液を水と置換する。完了は排水の色で判定する
	(水洗開始)	純水元弁 開	
		ブロー液確認(量、色)	
		ブロー液確認(透明確認)	
	(水洗完了)	純水元弁 閉	
		純水入口弁閉	
		ピットブロー弁 閉	
8	B - 液抜き	フィルターブロー弁 開	
		エアー抜き弁 開	
	(抜液完了)	ブロー状態確認(ブロー完了)	
9	B - 交換	フィルターカバー開放	
		ストレーナー取り出し	
		内部点検	

		予備ストレーナー挿入	
		フィルターカバー復旧	
10	B - 水張り・加圧	空気抜き用ホース取り付け	
		エア－抜き弁 開	
		純水入口弁 開	
		純水元弁 少開	
		空気抜きホースからの排水確認	
11	B - 加圧・漏れチェック	エア－抜き弁 閉	
		漏れ確認	
12	B - スタンバイ	純水元弁 閉	
		純水入口弁 閉	

表3 - 5 各作業のリスク評価

	ステップ	作業内容	潜在危険 (リスク)	推定異常事象	回避処置
1	切替準備	操作室へ切替作業実施を連絡			
		予備フィルターを準備			
		空気抜き用ホース取り付け			
		送液流量確認			
2	A - 水張り	エアー抜き弁開			
		純水入口弁開			
		純水元弁少開 よし	プロセスへの影響	ラインに空気が滞留していると、空気が抜けるときに圧力が急激に下がる。ボイラーに液体燃料を使用する場合には、「重油圧力極低」でボイラートリップのおそれもある。	
		空気抜きホースからの排水確認			空気抜きを完全に行い、内部滞留をなくす。
		純水元弁閉			
		純水入口弁閉			
3	A - 加圧・漏れチェック	フィルター出口弁開			そのため作業時は保護めがねを使用する。又、作業時、継ぎ目に対して顔を近づけない。
		シール部漏れ点検	プロセスへの影響	フィルター入口弁開で、フィルターAは活きたラインに組み込まれる。ラインはAとB系列が並列状態になる。潜在異常があれば顕在化する。	

4	A - 通液	フィルター入口弁 開			異常を感じたら弁を直ぐに元の状態に戻す。弁の開操作及び閉操作はゆっくり行い、ラインに急激な変動を与えないようにする。
		L C V開度	プロセスへの影響	新しくラインに加わったA系列のみの通液となる。並列中はB系による通液もあったが、A単独となり異常があれば、即、ラインに異常となってプロセスに影響を与えることになる。	
5	B - 停止	フィルター入口弁 閉			A、B並列状態から単独への移行時期である。流量や圧力に異常があれば直ぐに元へ戻す。
		L C V開度			
		フィルター出口弁 閉			
6	B - 抜圧	ピットブロー弁 開			
7	B - 水洗	純水入口弁 開			
	(水洗開始)	純水元弁 開			
		ブロー液確認(量、色)	人体への影響	開放時に残実液があると、作業時に付着して薬傷する。	
		ブロー液確認(透明確認)			予め内部洗浄を行い、廃液から純水に置換しておく。
	(水洗完了)	純水元弁 閉			
		純水入口弁閉			
8	B - 液抜き	フィルターブロー弁 開			
		エアー抜き弁 開		閉めても弁の漏れが止まらないときにはポンプ停止などにより送液をストップせねばならず、全系に影響がでる。	
	(抜液完了)	ブロー状態確認(ブ			ブローが完全に止ま



		ロー完了)			ったことを確認して開放する
9	B - 交換	フィルターカバー開放			
		ストレーナー取り出し			
		内部点検			
		予備ストレーナー挿入			
		フィルターカバー復旧			
10	B - 水張り・加圧	空気抜き用ホース取り付け			
		エアー抜き弁 開			
		純水入口弁 開			
		純水元弁 少開			
		空気抜きホースからの排水確認			
11	B - 加圧・漏れチェック	エアー抜き弁 閉			
		漏れ確認			
12	B - スタンバイ	純水元弁 閉			
		純水入口弁 閉			

表3 - 6 作業診断用スキル表

教育項目		診断 月日	診断 月日	認定 月日
		.. .	.. .	..印
重要項目				
1	ストレーナ切替操作は流量、圧力が変動しないように徐々に行う。			
2	弁の操作は、開閉手順と操作方法を正確に行う。			
3	ストレーナ内の空気抜きは確実に行う。			
4	作業時には保護めがね着用する			
5	カバー開放前に抜圧を確実に行う。			
作業手順				
1	操作室へ切替作業実施を連絡			
2	送液流量確認			
3	エアー抜き弁 開			
4	純水入口弁 開			
5	純水元弁 少開			
6	空気抜きからの排水確認			
7	純水元弁 閉			
8	純水入口弁 閉			
9	エアー抜き弁 閉			
10	フィルター出口弁 開			
11	シール部漏れ点検			
12	フィルター入口弁 開			
13	フィルター入口弁 閉			
14	フィルター出口弁 閉			
15	ピットブロー弁 開			
16	純水入口弁 開			
17	純水元弁 開 (洗浄開始)			
18	ブロー液確認(透明確認)			
19	純水元弁 閉			
20	純水入口弁 閉			
21	ピットブロー弁 閉			
22	フィルターブロー弁 開			
23	エアー抜き弁 開			
24	ブロー状態確認(ブロー完了)			
25	フィルターカバー開放			
26	ストレーナー取り出し			

27	予備ストレーナー挿入			
28	フィルターカバー復旧			
29	内部点検・フィルター付着物点検			
30	エア－抜き弁 開			
31	純水入口弁 開			
32	純水元弁 少開			
33	空気抜きホースからの排水確認			
34	エア－抜き弁 閉			
35	漏れ確認			
36	純水元弁 閉			
37	純水入口弁 閉			

表3 - 7 作業理解度チェック(質問と解答)

ステップ		質問事項
機能	1	ストレーナーの役割は何か 送液の中の異物を除去するため
	2	ストレーナーつまりはどこを見ればわかるか 入口と出口PGの差圧で見ると、0.5 kg/cm <sup>2</sup> 以上は切替掃除が必要
準備	3	切替時の連絡先はどこか 作業開始前に操作室に連絡する。又、完了後も連絡する
	4	使用する保護具を2つあげよ 保護めがね、ゴム手袋
	5	切替時に使用する工具は何か カバー開放時に使用する8インチスパナ(又はめがねレンチ)、ボール弁操作用モンキーレンチ
切替作業	6	切替作業で起きやすいプロセストラブルは何か 切替手順を間違えると流量が停止してしまうおそれがある
	7	また、それはどの作業工程で起きやすいか 今まで使用していた方のストレーナー弁を停止するとき
	8	それを避けるために注意すべきことは何か 弁を閉めていくとき、流音が変わったり、手に振動が伝わったら流量の変化があるので、一旦弁を元の状態に戻し原因を調べる。
	9	水洗時に純水元弁を全開しない理由は何か 純水元弁を全開すると純水圧力が低下して他のプラントに支障が出るため
	10	切替作業で起きやすい人的災害は何か 被液による薬傷、特に目に入らないように注意する
	11	また、それはどの作業工程で起きやすいか 加圧時にシール部からの噴出、抜圧時及び空気抜きの作業時
	12	それを避けるために注意すべきことは何か 保護めがねを着用する。又、シール部を覗きこまない。
	13	ストレーナー水洗を行う目的は何か ストレーナー入れ替え作業時に液に接触しないように事前に水に置換しておく。
	14	環境への影響として留意すべきことはなにか 液の流出や飛散による周囲の汚損
	結果確認	15
16		予備器をスタンバイ状態にするために行っておくべき作業は何か 純水で加圧し、空気抜きを行いつつでも切替ができる状態にしておく

表3 - 8 作業確認用チェックリスト

		チェック項目	結果	備考
1	作業前	作業指示を理解したか		
2		操作室(関係先)へ切替作業開始の連絡をしたか		
3		工具及び予備ストレナーは用意したか		
4		保護具の着用はよいか		
5	作業中	切替前に空気抜きからの排水を確認したか		
6		切替手順は確認したか		
7		弁操作時、流量に変動は与えなかったか		
8		カバー開放前に抜圧を確認したか		
9		作業ごとに結果を確認したか		
10	作業後	流量変化は起きていないか		
11		漏れはないか		
12		操作室(関係先)へ切替作業完了の報告をしたか		
13		予備器の空気抜きは完了しているか		
14		予備器はスタンバイの状態になっているか		

表3-9 行動解析用シート

分	秒	対象フィルター	ステップ	作業手順	コメント	確認	エア-抜き弁	純水入口弁	純水弁	フィルター出口弁	フィルター入口弁	ピットブロー弁	フィルターブロー弁	操作室連絡
1	0	06				よし	流量							
2	0	10	切替準備	前の状態(流量)確認 流量はLCVの開度から 推測	が全開又は全閉状態は本当は 制御不良を意味する	LCV								
3	0	35		室へ作業開始を連絡										連絡
4	1	04		抜き時の液飛散防止のため の排出用ホース取り付け										
5	1	12	A	水張り	水張り		開							
6	1	32	A		弁は二重になっており元 弁開で初めて通水			開						
7	1	54	A		通水開始				開					
8	2	02	A		抜きからの排水で「水張り」 完了を確認	排水								
9	2	07	A		水停止)				開					
10	2	21	A		水停止)				開					
11	2	38	A		水停止)		閉							
12	3	06	A	通液	で加圧					開				
13	3	27	A	並列通液	ル部からの漏れチェック	漏れ								
14	3	39	A		(B+A)への切替 Aに異常があれば直ぐに Bのみに戻す					開				
15	4	08			変化を確認	LCV								
16	4	15	B	替(B-A)	レナ停止 (A側のみとなる)						開			
17	4	16		Bストップ)	Vで流量変化を確認	LCV								
18	5	04	B		ルターをラインから切り離 す					開				
19	5	34	B	抜圧	をピットにブローする							開		
20	5	53	B	水洗	は有害であり、ストレーナを 交換する前に純水に置換 する			開						
21	6	12	B		水通水)				開					
22	6	24	B		換中)	水色								
23	6	30	B		は着色しており、置換は透明度 でみる									
24	10	11	B	(水洗完了)	水「色」よし	水色								
25	10	19	B	水洗後処理)	水停止)				開					
26	11	03	B		水停止)				開					
27	11	18	B									開		
28	11	43	B	液抜き	ブロー弁と空気抜き弁で 液抜きを実施								開	
29	11	56	B				開							
30	15	02	B		完了	無液								
31			B	フィルター 開放										

表 3 - 1 0 拡大時系列表

ステップ	作業内容	急所	潜在危険 (リスク)	推定異常事象	回避措置	対象スレーブ												映像時刻	映像コメント	備考
						エアー抜き弁 開	エアー抜き弁 閉	排水	流量(LCV)	漏れ	小開	開	閉	開	閉	開	閉			
0 作業準備	1 工具の用意																			
	2 保護員の着脱																			
	3 操作室への切替作業実施を連絡																			
1 切替準備	1 予備フィルターを準備																	0:00:35		
	2 空気抜き用ホース取り付け																	0:01:04		
	3 送液流量確認																	0:00:10		
	4 送液流量確認																	0:00:10		
2 水張り	1 エアー抜き弁 開																	0:01:12		
	2 純水入口弁 開																	0:01:32		
	3 純水元弁 小開		プロセスへの影響	全開すると純水圧力が低下して純水を使うほかのプランに支障が出る恐れがある。														0:01:54		
	4 空気抜きホースからの排水確認																	0:02:02		
	5 純水元弁 開																	0:02:07		
	6 純水入口弁 開																	0:02:21		
	7 エアー抜き弁 開																	0:02:38		
3 加圧/漏れチェック	1 フィルター出口弁 開		人体への影響	圧力が上がった時、継ぎ目(シール部)から噴出することがある。実液が使用されているので被液すると薬傷する。	作業時は保護メガネを使用する。また、作業時、継ぎ目に対して顔を近づけない。													0:03:06		
	2 シール部漏れ点検																	0:03:27		
4 通液	1 フィルター入口弁 開	Aフィルターをラインに接続(AB並列)弁操作は、流量に急激な変動を与えないようゆっくり行う。使用フィルター:(B)(B+A)	プロセスへの影響	フィルター入口弁開で、フィルターAは詰まったラインに組み込まれる。ラインはA/B系列になり、潜在異常があれば顕在化する。	異常を感じたら弁を直ぐに元の状態に戻す。弁の開閉操作及び閉操作はゆっくり行い、ラインに急激な変動を与えないようにする。													0:03:39		
	2 LCV開度確認																		0:04:08	
	3 漏れチェック																		0:04:08	
5 停止	1 フィルター入口弁 閉		プロセスへの影響	新しくラインに加わったA系列のみの通液となる。並列中はB系による通液もあったが、A単独となり異常があれば、即、ラインに異常となってプロセスに影響を与えることになる。	AB並列状態から単独への移行時期である。流量や圧力に異常があれば直ぐに元へ戻す。													0:04:15		
	2 LCV開度確認																		0:04:46	
	3 フィルター出口弁 閉																	0:05:04		
6 抜圧	1 ビットブロー弁 開																		0:05:34	
	1 純水入口弁 開		人体への影響	開放時に残実液があると、作業時に付着して薬傷する。	予め内部洗浄を行い、廃液から純水に置換しておく。													0:05:53		
7 水洗	1 純水元弁 開(水洗開始)	カバ-開放時、被液や汚損を避けるため、廃液を水と置換する。																	0:06:12	
	2 ブロー液量・色確認																		0:06:24	
	3 ブロー液透明度確認	完了は排水の色で判定する。																	0:10:41	
	4 純水元弁 閉(水洗完了)																		0:10:49	
	5 純水入口弁 閉																		0:11:03	
	6 ビットブロー弁 閉																		0:11:18	
	7 フィルターブロー弁 閉																		0:11:43	
8 液抜き	1 エアー抜き弁 開																		0:11:56	
	2 エアー抜き弁 閉																		0:11:56	
	3 ブロー状態確認(ブロー完了)																		0:11:56	
	4 フィルターブロー弁 閉		プロセスへの影響	閉めても弁の漏れが止まらないときにはポンプ停止などにより送液をストップせねばならず、全系に影響がでる。	ブローが完全に止まったことを確認して開放する。													0:11:56		
9 フィルター交換	1 フィルターカバー開放																		0:15:02	
	2 ストレーナー取り出し																		0:15:02	
	3 内部、フィルター付着物点検																		0:15:02	
	4 予備ストレーナー挿入																		0:15:02	
	5 フィルターカバー復旧																		0:15:02	
10 水張り	1 空気抜き用ホース取り付け																		0:15:02	
	2 エアー抜き弁 開確認																		0:15:02	
	3 純水入口弁 開																		0:15:02	
	4 純水元弁少 開																		0:15:02	
	5 空気抜きホースからの排水確認																		0:15:02	
11 加圧/漏れチェック	1 エアー抜き弁 閉																		0:15:02	
	2 漏れ確認																		0:15:02	
12 スタンバイ	1 純水元弁 閉																		0:15:02	
	2 純水入口弁 閉																		0:15:02	
	3 作業完了の報告																		0:15:02	

表3 - 11 標準作業手順書(改訂版)

	ステップ		作業内容	急所
0	作業準備	1	工具の用意	
		2	保護具の着用	
1	切替準備	1	操作室へ切替作業実施を連絡	
		2	予備フィルターを準備	
		3	空気抜き用ホース取り付け	
		4	送液流量確認	
2	水張り	1	エアー抜き弁 開	
		2	純水入口弁 開	
		3	純水元弁 少開	
		4	空気抜きホースからの排水確認	
		5	純水元弁 閉	
		6	純水入口弁 閉	
		7	エアー抜き弁 閉	
3	加圧/漏れチェック	1	フィルター出口弁 開	
		2	シール部漏れ点検	
4	通液	1	フィルター入口弁 開	Aフィルターをラインに接続(A B並列)弁操作は、流量に急激な変動をあたえないようゆっくり行う。使用フィルター:(B) (B + A)
		2	LCV開度確認	
		3	漏れチェック	
5	停止	1	フィルター入口弁 閉	
		2	LCV開度確認	
		3	フィルター出口弁 閉	
6	抜圧	1	ビットブロー弁 開	
7	水洗	1	純水入口弁 開	
		2	純水元弁 開(水洗開始)	カバー開放時、被液や汚損を避けるため、廃液を水と置換する。
		3	ブロー液量・色確認	
		4	ブロー液透明度確認	完了は排水の色で判定する。
		5	純水元弁 閉(水洗完了)	
		6	純水入口弁 閉	
		7	ビットブロー弁 閉	
8	液抜き	1	フィルターブロー弁 開	
		2	エアー抜き弁 開	
		3	ブロー状態確認(ブロー完了)	
		4	フィルターブロー弁閉	
9	フィルター交換	1	フィルターカバー開放	
		2	ストレーナー取り出し	
		3	内部、フィルター付着物点検	
		4	予備ストレーナー挿入	
		5	フィルターカバー復旧	
10	水張り	1	空気抜き用ホース取り付け	



		2	エア-抜き弁 開確認	
		3	純水入口弁 開	
		4	純水元弁少 開	
		5	空気抜きホースからの排水確認	
11	加圧/漏れチェック	1	エア-抜き弁 閉	
		2	漏れ確認	
12	スタンバイ	1	純水元弁 閉	
		2	純水入口弁 閉	
		3	作業完了の報告	

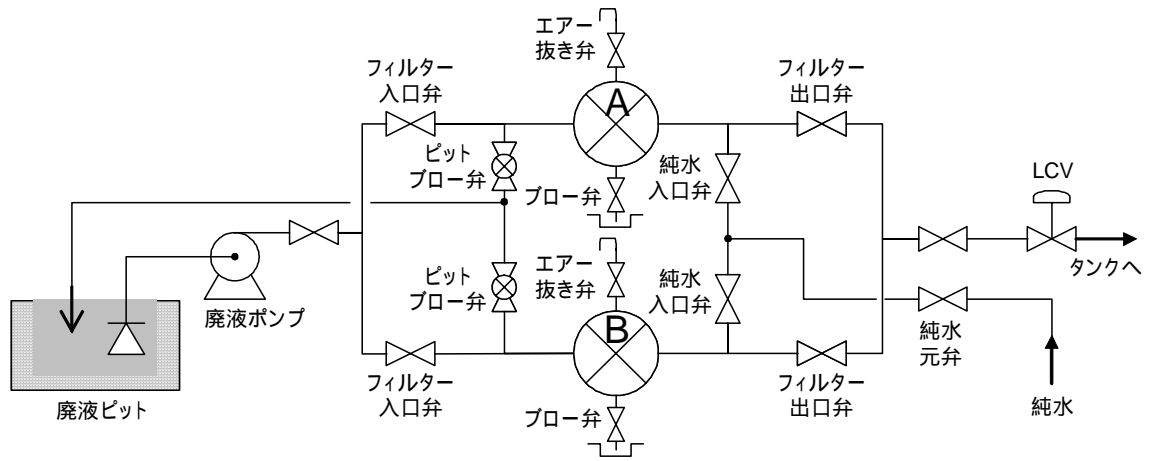


図 3 - 1 : 廃水ストレーナー周りの管系図

## 4. OJT による育成を考慮したオペレータ配置計画

### 4. 1 はじめに

プラントの熟練オペレータは、重要な操作や作業を担当するとともに、OJT (On-the-Job Training) を通じて非熟練オペレータを育成することで、安全で効率の良いプラント運転の実現とその持続に重要な役割を果たしてきた。しかし、計器室統合やプラント運転の高度化、保全業務などの作業分担の増加によって必要な知識が増えるとともに、熟練オペレータの負荷はますます高くなっている。一方、省人化のため教育を受ける非熟練オペレータも減り、オペレータ育成の状況は変わりつつある。

プラントオペレーションおよび技術伝承に関するアンケート調査<sup>(5)</sup> <sup>(10)</sup>によれば、非熟練オペレータに対する技術伝承上の問題点として、「日常業務が多忙で教育時間が取れない」、「OJT で教える機会が不足している」と、アンケートに回答した事業所の過半数が指摘している。その背景として、近年の省人化や統合化により以前に比べて各オペレータに時間的な余裕がないこと、定年退職者数がピークを迎え熟練オペレータが急速に減少するいわゆる 2007 年問題があると分析している。

プラント運転の現場では、ビデオカメラやデジタルカメラの活用や、運転ノウハウのデータベース化などによって非熟練オペレータ教育の効率化を進めているが、OJT による教育の重要性は依然として失われていない。限られたヒューマンリソースの中で、日々の運転の担い手である熟練オペレータが非熟練オペレータに対して OJT を行うための時間的な余裕をいかに捻出するかが重要な課題となっている。

連続プロセスのプラント運転の多くは 4 直 3 交替制のような交替制勤務によって行われている。4 直 3 交替制とは 4 つの班が日勤、夜勤、深夜勤の 3 シフトを交替で担当する勤務体制をいう。このような交替制勤務を取る職業として病院における病棟看護師があるが、プラント運転と同様に病棟看護の現場においても、過密シフトによる看護の質の低下や看護師への肉体的、精神的負担の増加が問題となっている。Ikegami *et al.* (2003) は、病院現場の勤務表作成担当者に対するアンケート調査の結果に基づいて、病棟看護師の勤務スケジュールを決定するナース・スケジューリング問題をモデル化した<sup>(13)</sup>。具体的には、1 シフトの人数、各看護師のスキルレ

ベルや勤務回数などに関する制約条件の下で、各看護師の負担レベルの目標値との差を最小化する問題として定式化している。この問題は、交替制勤務のスケジューリングを対象としており、退職や採用による組織の人員構成の変化をともなう中長期にわたる育成については考慮していない。このような育成を考慮した人の配置計画問題に対して、評価関数や制約条件を定式化し、数理計画法によって最適解を求めようとした研究報告は見当たらない。

本研究では、OJTによる非熟練オペレータの早期育成を目的として、日々のプラント運転の安全と安定運転の確保のための人員構成を制約とする10年程度のオペレータ配置計画問題の定式化を行う。

## 4. 2 オペレータ配置計画問題の定式化

プラントの運転形態、配置転換やオペレータの教育制度は、企業や事業所によって考え方が大きく異なるため、オペレータ配置計画問題の一般的な定式化は難しい。そこで本研究では、典型的な石油化学工場を対象に、OJTによる育成を考慮したオペレータ配置計画問題の定式化例を示す。なお、ここでのOJTは、配属後間もない新人教育およびキャリアを積む過程にある中堅オペレータの教育を目的とする。

### 4.2.1 想定した工場の条件

工場は2プラントからなり、それぞれのプラントは計4班の交替制勤務(4直3交替制)によって24時間連続運転されているものとする。1班は、班長1名、副班長1名、班員3名を含む計5名のオペレータから構成されるとする。それゆえ、工場全体でのオペレータ数は40名である。計画期間を10年、オペレータの他班、他プラントへの移動は2年単位で行うと仮定したことから、計画単位期間(班員固定期間)は2年となる。オペレータの定年退職年齢は60歳、新規採用時の年齢は18歳であるとし、定年退職者が発生した場合には直ちに退職者数と同数を新規に採用すると仮定した。

オペレータのスキルレベルに関しては石油会社におけるオペレータ育成に関しての報告<sup>(20)</sup>が下記のようになされているので、本研究ではこれを参考にして3段階の

スキルレベルを設定することとした。

① A 石油会社における OJT によるオペレータの育成<sup>(20)</sup>

OJT 教育の「能力修得項目」では、現場各部署の職場内業務を抽出し、その業務を遂行するために必要な「技能」、「知識」を指標として、その習得のために達成度を明確にしている。オペレータの業務は、フィールドとボードに大別され、その能力レベルを「フィールドマン B」、「フィールドマン A」、「ボードマン B」、「ボードマン A」の 4 種類に分け、それぞれの達成目標を定めている。各オペレータは、年度当初に上司と協議してその年の目標項目と達成レベルを決定し、定期的に達成状況を上司とともにチェックして、レベル達成を目指している。オペレータに要求される能力レベルと修得業務の概要は、表 4-1 のとおりである。なお、ボードマン A 取得後は、Off-JT を主としたマネジメントやメンタル面を含めた総合的なカリキュラムに沿って教育が継続されることとなっている。

② B 石油会社の OJT によるオペレータの育成<sup>(20)</sup>

オペレータの育成・能力開発のためのプログラムは、基本モデルでの育成期間を 20 年とし、「ステップ I (初級 1~5 年)」、「ステップ II (中級 6~15 年)」、「ステップ III (上級 16~20 年)」の 3 段階に区分し、各ステップにおける修得科目、運転技術の向上方法等について、表 4-2 に示すように明確化している。特徴的な事項としては下記のようなものがある。

- オペレータに望む能力像と目標を明確化していること。
- 詳細な理解度チェックリストを使用していること。
- 運転グループで構成するオペレータ能力開発事務局が実行管理に当たっていること。

また、能力開発は、OJT、Off-JT、自己研鑽が三位一体で実施されることによって効果が上がるため、その実践と実行者が次のように決められている。

- OJT . . . . . ジョブリーダー、班長
- Off-JT . . . . . 事務局の企画、指名する講師
- 自己研鑽 . . . . . 通信教育、本社主催のオープンセミナー
- 資格取得 . . . . . 既取得者、内外の講習会、eラーニング

一方、OJT の評価は、年度当初に OJT 実施者が対象者本人と相談して、OJT の重点項目、目標等を記入した OJT 計画を作成し、年度末には当初計画に対する結果評価

を、対象者本人、OJT 実施者、OJT 実施責任者、OJT 指導責任者がそれぞれ記入した上で、毎年 3 月末日までに能力開発事務局へ提出し、それに基づき能力開発委員会が行う仕組みとなっている。また、各職場毎に、職場の特性に応じた修得すべき項目を明確化しており、進捗状況と修得効果を定量的に把握するための詳細な理解度チェックリストが作成されている。

#### 4.2.2 所属班数および班員数制約

工場に所属するオペレータの通し番号を  $i$  ( $i = 1, \dots, 40$ )、計画期間番号を  $j$  ( $j = 1, 2, 3, 4, 5$ )、プラント番号を  $p$  ( $p = 1, 2$ )、班番号を  $g$  ( $g = 1, 2, 3, 4$ ) と定める。オペレータ  $i$  が期間  $j$  においてプラント  $p$  の班  $g$  に所属するとき 1、所属しないとき 0 を取る 0-1 変数  $\{z(i, j, g, p)\}$  を導入する。一人のオペレータが各期間において所属可能な班は 1 班のみであるから、0-1 変数  $\{z(i, j, g, p)\}$  は Eq. (1) に示す所属班数に関する制約条件式を、全ての  $(i, j)$  の組合せに対して満たさなければならない。

$$\sum_{p=1}^2 \sum_{g=1}^4 z(i, j, g, p) = 1 \quad \text{for } \forall (i, j) \quad (1)$$

また、各班に所属するオペレータ数はそれぞれ 5 名であるから、0-1 変数  $\{z(i, j, g, p)\}$  は Eq. (2) に示す班員数に関する制約条件式を、全ての  $(j, g, p)$  の組合せに対して満たさなければならない。

$$\sum_{i=1}^{40} z(i, j, g, p) = 5 \quad \text{for } \forall (j, g, p) \quad (2)$$

#### 4.2.3 OJT 成立条件

OJT による教育期間や同一プラントへの所属期間をオペレータのスキルレベルのマクロな評価基準の一つとしている企業は多い。現実には、通算 OJT 期間が長いからといって、必ずしもスキルレベルが高く、若手への教育が上手なオペレータばかりではない。しかし、通算 OJT 期間はオペレータのスキルレベルを評価するための主要な因子の一つであるとの考えから、本研究においてはオペレータのスキルレベルを判定するためのマクロな指標として通算 OJT 期間を採用する。

ある化学企業では、新人から職長までのオペレータに要求されるスキルレベルを

大きく 5 段階に分け、それぞれの段階において取得すべき技能、その時期などを細かく記したスキル開発モデルを定めている。高圧ガス保安協会は、非熟練オペレータに誰が教えるか、教えた結果を誰が評価し合格判定をするのか、いつまでにどのような項目についてどの程度の習得を必要とするのかという OJT によるスキル開発モデルの例を示している。スキル開発モデルは企業や事業所毎に異なるが、本研究では、前述の石油会社を参考にして以下で説明するようにオペレータを 3 段階のスキルレベルで評価する。

オペレータのスキルレベルには A（熟練）、B（中堅）、C（新人）の 3 段階があり、レベル C から B へは 6 年、レベル B から A へは 6 年の通算 OJT 期間が必要であると仮定する。オペレータスキルのレベルアップに要する通算 OJT 期間は、プラントの種類や運転の難易度によって異なるが、ここでは上記の通算 OJT 期間がレベルアップの要件とした。

班内でレベル C やレベル B のオペレータに OJT が行えるのは、よりスキルレベルの高いオペレータである。レベル C のオペレータに対しては、スキルレベルの高いオペレータが常時マンツーマンで教育する必要があるため、班内に OJT を行う人的余裕がなければならない。本研究では、班内に人的余裕があることを、レベル C のオペレータ数と同数かそれより多数のスキルレベルの高いオペレータが班内にいる条件で表した。所属班内に人的余裕があり、かつ OJT を受ける対象であるレベル C のオペレータがいるとき、その班においてレベル C のオペレータに対する OJT が可能であるとした。オペレータによっては、教え方が上手で、一人で複数のオペレータに OJT を実施できる場合もあるが、スキルレベル C のオペレータに対する OJT は一般に教える側にとって負担が非常に大きいとの考えから、スキルレベル C のオペレータに対しては一律に 1 対 1 で OJT を実施するものとした。

熟練度が高いレベル B のオペレータに対する OJT は、マンツーマンが基本であることに変わりはないが、常時教育するというよりは日常の運転中のポイント、ポイントで必要な知識なり技術を学ぶことであると考えた。そこで、所属班内にスキルレベル A のオペレータが少なくとも一人いて、かつ班内に OJT を受ける対象であるレベル B のオペレータがいるとき、その班においてレベル B のオペレータに対する OJT が可能であるとした。また、レベル B のオペレータが、所属班内でレベル C のオペレータに対して OJT を実施した場合に、自らに対する OJT としても認めた。

これは、中堅オペレータにとって、新人オペレータへ OJT を実施することが彼らにとってのスキルアップのための助けとなるとの考えからである。このように、レベル C のオペレータは OJT を受けることのみが評価されるのに対して、レベル B のオペレータは OJT を実施すること、および受けることの両方が評価されることになっている。

レベル C のオペレータへの OJT が成立した場合、レベル C のオペレータの持つ通算 OJT 期間に 2 年 (1 期間) を加算する。一方、レベル B のオペレータへの OJT が成立した場合には、レベル B のオペレータの持つ通算 OJT 期間に 1 年 (0.5 期間) が加算される。また、所属する班においてレベル C のオペレータへの OJT を行ったレベル B のオペレータに対しては 1 年 (0.5 期間) が加算される。レベル A のオペレータは熟練オペレータであるため、通算 OJT 期間は変化しない。

#### 4.2.4 班構成制約

プラントの安定・安全運転を確保するためには、班内に少なくともレベル A のオペレータが 1 名、さらにレベル B 以上のオペレータがもう 1 名必要であると仮定する。班長となるための要件はレベル A が認定されていること、副班長となるための要件は少なくともレベル B 以上であるとした。

オペレータ  $i$  の期間  $j$  におけるプラント  $p$  に対する OJT による通算 OJT 期間を  $e_i(i, j, p)$  とする。班構成上の制約条件の定式化のために、オペレータのスキルレベル  $e_i(i, j, p)$  は、スキルレベル A のとき 5、スキルレベル B のとき 1、スキルレベル C のとき 0 を与える。この班構成に関する制約は、オペレータのスキルレベルの班内での総和を 6 以上とすることで表現できる。班員数が 5 のとき、班内の構成員のスキルレベルが A、B、C、C、C であればスキルレベルの総和は 6 で班構成制約を満たす。B、B、C、C、C であればスキルレベルの総和は 2 となり制約を満たさない。以上より、プラントの安定・安全運転を確保するための制約を Eq. (3) のように定式化できることがわかる。

$$\sum_{i=1}^{40} e_i(i, j, p) \cdot z(i, j, g, p) \geq 6 \quad \text{for } \forall (j, g, p) \quad (3)$$

Eq. (3) は、全ての  $(j, g, p)$  の組合せに対して成立しなければならない。



#### 4.2.5 評価関数

本研究のオペレータ配置計画問題では、Eq. (1)～Eq. (3) の制約条件を満たしながら、Eq. (4) に示すように全オペレータの担当プラントに対する各期における通算 OJT 期間の総和を評価関数とした。

$$f = \sum_{j=1}^5 \sum_{g=1}^4 \sum_{p=1}^2 \sum_{i=1}^{40} e_i(i, j, p) \cdot z(i, j, g, p) \quad (4)$$

ただし、スキルレベル A のオペレータはそれ以上スキルレベルの向上を勘案していないので、スキルレベル A のオペレータの通算 OJT 期間は変化しないとした。

#### 4.2.6 最適化問題

制約条件式 (1), (2), (3) の下で評価関数(4)を最大化するオペレータの配置を求める。得られる最適解は、安定・安全運転のための班構成制約を満たしながら、オペレータの担当プラントに対する各期における通算 OJT 期間の総和を最大とする解となる。

### 4. 3 オペレータ配置の最適化：ケーススタディ

#### 4.3.1 初期年齢分布

図 4-1 に全オペレータ (40 名) の初期年齢分布を示す。オペレータの初期年齢分布は、アンケート結果<sup>(1)</sup>を参考に、現在多くの現場で見られる若年層と高年齢層において 2 つのピークを持つ分布とした。表 4-3 に各オペレータのプラント毎の初期通算 OJT 期間をまとめた。初期通算 OJT 期間はプラント 1、2 毎にオペレータの年齢から設定した。

#### 4.3.2 オペレータ配置の最適化

オペレータ配置計画問題の最適解を、MATLAB ツールボックスに含まれる整数計画問題ソルバー (bintprog) を用いて求めた。定式化した問題は非線形な混合整数計画問題であるため、厳密な最適解を求める事は難しい。そこで、通算 OJT 期間  $e_i$  およびスキルレベル  $e_i$  を決める外部ループと、制約条件式 (1), (2), (3) を満たし評

価値関数(4)を最大にする解を導出する内部ループからなる最適化プログラムを作成した。内部ループは線形混合整数計画問題となるので分岐限定法でこれを解いた。外部ループでは、内部ループで算出された配置計画にしたがった通算 OJT 期間よりオペレータのスキルレベルを再設定することとした。このプログラムは、 $e_i$ および  $e_j$ に関する非線形式の計算を外部ループとして最適化問題から分離したため、内部ループの問題が  $z(i, j, g, p)$  に関する線形整数計画問題となり、比較的容易に解を求めることができる。ただし、外部ループの扱い方によって、得られる解は近似解となる。

各期間におけるスキルレベル C および B のオペレータに対する各班の OJT の成立についての結果を表 4-4 に示す。表中には、OJT が成立した場合はそのときのマッチング成立数を、OJT を指導する側のオペレータ数は条件を満たしているものの OJT を受けるオペレータがいないため OJT が成立しない場合は $\Delta$ を、OJT を指導する側のオペレータ数が条件を満たさず OJT が成立しない場合は $\times$ を記した。

表 4-2 からわかるように、OJT を指導するオペレータ数が条件を満たさず OJT が成立しなかった班(表中 $\times$ )は第 5 期のプラント 1 第 1 班のみであった。指導する側のオペレータ数は条件を満たすが、受ける側のオペレータがなくて OJT が不成立となった班(表中 $\Delta$ )は全期間で 38 班あった。このときの評価関数値は 2051 であった。想定した工場のオペレータ数は 40 名、全計画期間が 5 期間であることから、オペレータの担当プラントに対する各期の平均通算 OJT 期間は 10.3 年となる。得られた解は制約式 Eq. (1)~Eq. (3) を満たす。

#### 4.3.3 結果の考察

各期におけるオペレータの在籍プラントおよび班の一覧を表 4-5 に示す。表中の 2 桁の数字の十の位の数字は所属プラントの番号を表し、一の位の数字は所属班の番号を表す。例えば、24 はプラント 2 の第 4 班の所属であることを意味する。最適配置計画には、中堅、新人オペレータについて 10 年間のうちにおおよそ 1~4 回の移動が見られる。一方、熟練オペレータに移動は少なく、班やプラントを全く移動しないオペレータも数名いる。また、同一プラント内の班の移動が他プラントへの班の移動に比べ多いことや、オペレータ番号の近い者同士は同じ班に所属しやすいという傾向が見られる。

プラント 1 とプラント 2 に属するオペレータの担当プラントに対する通算 OJT 期

間の分布を図4-2に示す。図4-2上のグラフには、プラント1に属する20名のオペレータの通算OJT期間分布を、図4-2下のグラフにはプラント2に属する20名のオペレータの通算OJT期間分布をプロットした。通算OJT期間が12年以上のオペレータ数はOJT期間を12年としてカウントした。プラント1でのスキルレベルAのオペレータ数は、期が進むと一旦減少し、その後増加している。これは、熟練オペレータの定年退職によって新規採用者が増加した影響である。また、通算OJT期間が0から1年であるオペレータ数は期間とともに徐々に増加している。初期年齢分布に偏りがある場合、運転経験のあるオペレータを補充しない限りこのような現象が起こる。一方、プラント2では、スキルレベルAのオペレータ数の割合が高くなっている。これより、OJTがオペレータの最適配置計画によって効率的に進められていることがわかる。また、表4-6に担当プラントの平均通算OJT期間の変化をまとめた。担当プラントの平均的な通算OJT期間は、期間によって変動するが、8.3~11.4年という高い値となった。

表4-7に、計画期間中にスキルレベルが上がったオペレータと、そのときの年齢を示す。プラント1については、スキルレベルがCからBに上がったオペレータが2名、BからAに上がったオペレータが6名で、そのときの平均年齢はそれぞれ25.0歳と33.2歳であった。プラント2については、スキルレベルがCからBに上がったオペレータが7名、BからAに上がったオペレータが12名で、そのときの平均年齢はそれぞれ25.9歳と34.4歳であった。

#### 4.4 ヒューリスティック手法による解法

オペレータ配置計画問題を解くことで、安定・安全運転に関する制約を満たし、OJTを効率的に実施するオペレータ配置計画を導出することができるが、非線形の混合整数計画問題を解かなければならない。そこで、現場において比較的容易にオペレータ配置計画を行うための手法として、2種のヒューリスティック手法の有効性を検討した。

#### 4.4.1 運転経験年数に基づくオペレータ配置計画

スキルレベルに相関が強いと考えられる運転経験年数に基づきオペレータを配置する。プラント内の班間のスキルレベル差を小さくするために、運転経験年数の長い順にオペレータを各班に割り付け、平均経験年数を均一化する。この方法では必ずしも安定・安全運転に関する制約を満たす班員構成になるとは限らないため、班間でメンバーを交換するなどの調整が必要となる。

定式化による最適オペレータ配置計画との比較のため、班員の配置計画を運転経験年数に基づくヒューリスティック手法で行い、スキルレベル C および B のオペレータに対する OJT の成立、不成立について調べた。40 名のオペレータをプラント 1 の運転経験年数の長い人から、プラント 1 第 1 班→…→プラント 1 第 4 班に割当、次に残りのオペレータの中でプラント 2 の運転経験年数の長い人からプラント 2 第 1 班→…→プラント 2 第 4 班に配置した後、再びプラント 1 の運転経験年数の長い人からプラント 1 第 1 班→…の順に、各班の班員数が 5 名になるまでこれを繰り返した。

計算結果を表 4-8 に示す。得られる班員構成は、Eq. (1) および Eq. (2) を必ず満たす。表中には、OJT が成立した場合はそのときのマッチング成立数を、OJT を指導する側のオペレータ数は条件を満たしているものの OJT を受けるオペレータがいないため OJT が成立しない場合は $\Delta$ を、OJT を指導する側のオペレータ数が条件を満たさず OJT が成立しない場合は $\times$ を記した。本手法による Eq. (4) の評価関数値は、最適化計算結果の 2051 に比べて若干悪い 2041 であった。平均通算 OJT 期間で比較すると、それぞれ 10.3 年と 10.2 年となった。

以上より、非線形の混合整数計画問題としてオペレータ配置計画問題を厳密に解かなくとも、ヒューリスティック手法により、担当プラントの通算 OJT 期間の総和を最大とする最適解に近い解が得られることが確認できた。しかし、複雑な制約条件がある場合には、ヒューリスティック手法により全ての制約を満たす解を得ることは難しく、オペレータの最適配置計画問題を解く必要がある。

#### 4.4.2 年齢に基づくオペレータ配置計画

運転経験年数と同様にスキルレベルに相関が強いと考えられるオペレータ年齢に基づき配置する方法である。具体的には、40 名のオペレータを年齢の若いほうから、

プラント1第1班→…→プラント1第4班→プラント2第1班→…→プラント2第4班に配置した後、再びプラント1第1班→…の順に、各班の班員数が5名になるまで配置する。配置結果を表4-9に示す。年齢に基づく配置計画では、オペレータは、2つのプラントの中で通算OJT期間のより短いプラントに配置される可能性があるため、本研究で評価関数とした担当プラントに対する通算OJT期間の総和は最適化計算結果の2051に比べ1833と低い値となった。平均通算OJT期間に換算すると9.2年となり、最適化結果の10.3年に比べ短くなっている。

#### 4.5 まとめ

本研究では、安定・安全運転の確保とOJTによるオペレータの育成の両者を考慮したオペレータ最適配置計画について、ケーススタディを使って考察した。オペレータの人員構成は、本研究で設定した退職と新人採用の他にも、途中退社・人事異動による出入りや中途採用など、更に複雑な要素がある場合も想定される。また各人のモチベーションの観点から、ある段階までのスキルレベルに到達する年齢に目標値幅を設ける必要があるかもしれない。このように条件が複雑化するとヒューリスティックな手法を適用することはより困難となり、制約条件を追加した数理計画的アプローチがより有利になると考えられる。

プラントオペレータのOJTに基づく育成は、持続的なプラントの安定・安全運転を支える重要な課題であり、中長期的な視点からの戦略が必要不可欠である。本研究のアプローチは、この目的のために役立つものとする。

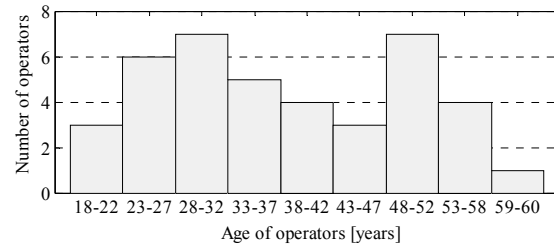


図4-1. オペレータ初期年齢分布

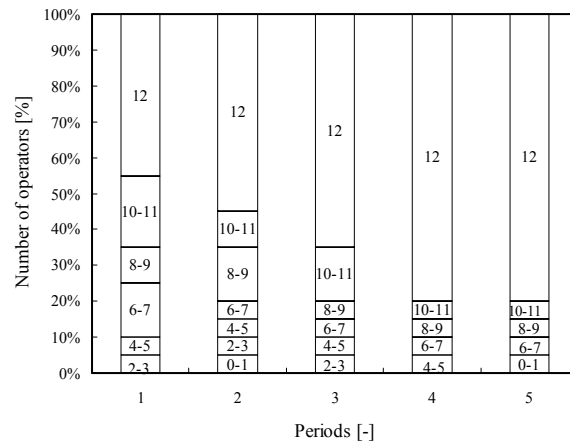
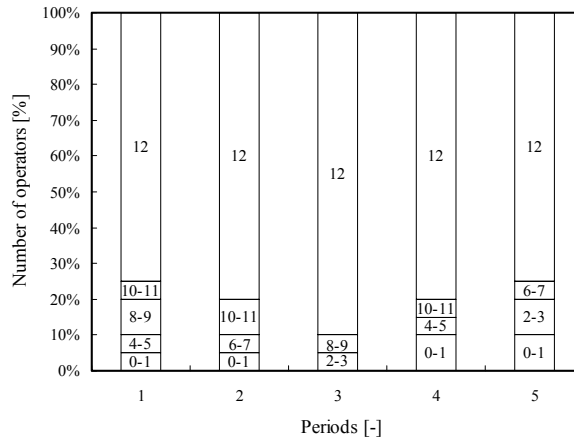


図 4 - 2 担当プラントに対する通算 OJT 期間分布の変化  
(上: プラント 1、下: プラント 2)

表 4-1 オペレータの修得業務概要<sup>(20)</sup>

能力	フィールドマン B	フィールドマン A	ボードマンB	ボードマンA
目標年	入社～1年	入社後3～5年	入社後5年	入社後8年
修得業務の概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ローカル運転記録の作成</li> <li>・パトロール</li> <li>・サンプリング作業（含判断）</li> <li>・定期作業（所内、自部署）</li> <li>・回転機潤滑油管理</li> <li>・アナライザの管理</li> <li>・ガス検作業</li> <li>・副資材管理</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・記録値の異常判断報告</li> <li>・広範な設備点検</li> <li>・定期作業（法定）</li> <li>・試験結果の確認と処置（含比較検討）</li> <li>・運転状況の把握</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・DCS等の操作と監視</li> <li>・運転状況把握（全セクション、運転変更）</li> <li>・異常時の判断・対応（運転記録、機器、計装）</li> <li>・機器の検査と修理依頼</li> <li>・運転日報の作成・確認</li> <li>・書類、帳票類の管理</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・運転状況把握（関連部署、運転管理値確認）</li> <li>・関連部署への連絡・調整</li> <li>・作業の分担・調整</li> <li>・諸通達事項の調整管理</li> </ul>



表 4-2 オペレータ教育のカリキュラムの一例<sup>(20)</sup>

ステップ	ステップⅠ(初級)	ステップⅡ(中級)	ステップⅢ(上級)
入社後年数	入社1年～5年	入社6年～15年	入社16年～20年
年齢	18～23歳	24～33歳	34～38歳
修得科目	<ul style="list-style-type: none"> <li>・石油の物性</li> <li>・DCS教育</li> <li>・環境管理</li> <li>・安全管理</li> <li>・品質管理</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・品質管理</li> <li>・工務知識(基礎編:設備検査、工事施工、回転機器保全、電気・計装保全)</li> <li>・生産計画</li> <li>・安全活動</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・生産計画</li> <li>・収益改善</li> <li>・ユーティリティ</li> <li>・工務知識(応用編)</li> <li>・安全活動</li> </ul>
運転技術向上方法等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・シフトワークによる教育</li> <li>・OJT/Off-JT</li> <li>・自己研鑽</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・OJT(OJTシートは10年間)</li> <li>・Off-JT</li> <li>・ポジションチェンジ</li> <li>・他部門への派遣教育</li> <li>・他社見学</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・OJT/Off-JT</li> <li>・自己研鑽</li> <li>・ポジションチェンジ</li> <li>・他部門への派遣教育</li> </ul>

表 4-3 オペレータの通算 OJT 期間（初期条件）

Operator No.	Age	Total OJT Period Plant 1	Total OJT Period Plant 2
1	51	28	5
2	49	23	8
3	38	18	2
4	34	14	2
5	29	8	3
6	57	27	12
7	54	20	16
8	43	17	8
9	34	14	2
10	26	6	2
11	59	25	16
12	42	20	4
13	39	17	4
14	35	10	7
15	25	6	1
16	53	25	10
17	51	19	14
18	40	14	8
19	32	10	4
20	26	4	4
21	57	17	22
22	48	10	20
23	37	9	10
24	28	2	8
25	22	3	1
26	50	10	22
27	46	10	18
28	33	6	9
29	31	7	6
30	24	2	4
31	52	13	21
32	48	16	14
33	30	4	8
34	27	3	6
35	19	1	0
36	47	8	21
37	31	2	11
38	28	2	8
39	27	4	5
40	21	0	3

表 4-4 スキルレベル C および B のオペレータに対する OJT 可否の計算結果

Level C	Plant 1 / Group				Plant 2 / Group			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Period								
1	Δ	Δ	1	Δ	2	1	1	1
2	Δ	Δ	Δ	1	1	1	Δ	1
3	1	Δ	Δ	Δ	Δ	1	Δ	2
4	Δ	Δ	Δ	1	Δ	Δ	Δ	2
5	×	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	1

Level B	Plant 1 / Group				Plant 2 / Group			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Period								
1	4	Δ	1	Δ	2	2	2	2
2	Δ	2	1	Δ	2	3	2	2
3	Δ	2	1	Δ	2	2	1	1
4	1	Δ	Δ	Δ	2	2	Δ	1
5	1	Δ	Δ	Δ	1	1	Δ	1

表 4 - 5 オペレータ配置計画問題の最適化計算結果

Operator No.	Period				
	1	2	3	4	5
1	11	11	12	14	12
2	14	12	12	12	13
3	12	14	14	13	14
4	12	13	12	12	12
5	11	13	13	11	13
6	14	13	11	14	11
7	13	13	14	13	11
8	12	12	14	12	12
9	14	11	11	13	13
10	11	12	12	11	13
11	14	24	24	24	24
12	13	14	13	14	14
13	13	14	13	12	14
14	11	11	13	11	12
15	13	12	12	11	14
16	12	14	14	14	11
17	12	13	11	13	14
18	14	11	11	13	13
19	11	11	14	14	12
20	24	24	24	24	24
21	24	24	24	24	24
22	24	23	24	24	24
23	24	24	23	24	23
24	24	24	24	23	23
25	13	14	13	11	11
26	23	23	23	23	23
27	23	23	23	23	24
28	23	23	23	23	23
29	23	23	23	23	23
30	23	22	22	22	22
31	22	22	22	22	22
32	22	12	11	12	11
33	22	22	22	22	22
34	22	22	22	22	22
35	22	22	22	22	22
36	21	21	21	21	21
37	21	21	21	21	21
38	21	21	21	21	21
39	21	21	21	21	21
40	21	21	21	21	21

表 4 - 6 担当プラントに対する平均通算 OJT 期間の変化

Periods	1	2	3	4	5
Plant 1	10.6	11.2	11.0	11.4	10.4
Plant 2	8.3	9.0	9.5	10.4	11.1

表 4 - 7 スキルアップ時のオペレータ年齢

Operator No.	Plant 1		Plant 2	
	C -> B	B -> A	C -> B	B -> A
5	-	33	-	-
6	24		-	-
10	-	32	-	-
11	-		24	-
14	-	37	-	-
15	-	31	-	-
19	-	34	-	-
20	-	-	28	39
21	-	-	24	-
23	-	-	-	39
24	-	-	-	32
25	26	32	-	-
28	-	-	-	37
29	-	-	-	37
30	-	-	26	32
33	-	-	-	34
34	-	-	-	33
35	-	-	25	33
37	-	-	-	33
38	-	-	-	32
39	-	-	29	35
40	-	-	25	31
Ave.	25.0	33.2	25.9	34.4

表 4－8 スキルレベル C および B のオペレータに対する  
OJT 可否の計算結果（経験年数に基づく配置結果）  
（上：スキルレベル C、下：スキルレベル B）

Level C	Plant 1 / Group				Plant 2 / Group			
Period	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Δ	Δ	Δ	1	1	1	1	2
2	Δ	Δ	1	Δ	1	Δ	1	1
3	Δ	1	1	Δ	2	Δ	1	Δ
4	Δ	1	1	Δ	1	Δ	Δ	Δ
5	Δ	2	Δ	1	1	Δ	Δ	Δ

Level B	Plant 1 / Group				Plant 2 / Group			
Period	1	2	3	4	1	2	3	4
1	1	1	2	1	2	2	2	2
2	1	1	1	1	1	3	2	2
3	Δ	1	1	1	Δ	2	1	2
4	Δ	Δ	Δ	1	1	1	1	2
5	Δ	Δ	1	Δ	1	Δ	1	1

表 4－9 スキルレベル C および B のオペレータに対する  
OJT 可否の計算結果（年齢に基づく配置結果）  
（上：スキルレベル C、下：スキルレベル B）

Level C	Plant 1 / Group				Plant 2 / Group			
Period	1	2	3	4	1	2	3	4
1	2	2	2	1	1	2	2	2
2	2	2	2	1	1	1	1	1
3	1	1	Δ	Δ	1	1	1	1
4	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	1	1	1
5	Δ	Δ	Δ	1	1	1	1	Δ

Level B	Plant 1 / Group				Plant 2 / Group			
Period	1	2	3	4	1	2	3	4
1	1	Δ	1	3	2	1	2	1
2	1	Δ	Δ	2	1	2	2	3
3	2	1	2	1	Δ	3	2	2
4	2	2	2	1	1	2	2	2
5	2	2	2	1	1	1	1	1

## 5. 結論

オペレータの教育・訓練については従来から OJT がその大きな役割を担い、熟練者のもつノウハウの非熟練者への伝達手段となっている。しかし、OJT についてはその方法や内容についての資料が少なく、特にフィールド作業については支援ツールも極めて少なく技術伝承が困難な状況になっている。

技術伝承の内容を見出すためには表 5-1 に示すようなアプローチがあるが、何れか一つの方法で十分とは言えない。その中でもまず経験者が自ら表現できる内容を取り出すことが重要であり、本研究では、(3)「経験的な説明によるアプローチ」を取り上げた。経験者が作成する場合において、標準作業手順の定義自体が各社違っている、もしくは、同じ会社でも職場ごとに違っている場合がある。それに加えて計器室統合に見られるように、より少ない人数で広い範囲を担当する傾向が強かった。本研究で提案した作業の基本である標準作業手順の作成プロセスを統一的な方法で簡便に行うことにより、集約した情報を比較的簡単に管理できることが示された。

フィールド作業の指針となる手順書などの資料を見直し、技術・技能伝承の観点から課題を抽出し、OJT で活用できる教材の開発方法について提案したが、ケーススタディから考案した時系列表をベースにした OJT 教材開発プロセスはプラント運転の技術・技能伝承の一つの柱になるものと考えている。表 5-1 に示した他のアプローチの中では、監視や点検といった表面的には手順を持たない技術内容について、(4)「観察によるアプローチ」を適用すれば、より多くの教材開発が出来るのではないかと考えられる。

生産活動を安全に関する独立防御層の視点からみると、欧米での関心は HAZOP のようなプラント装置の安全性の評価や緊急遮断システムの評価 (SIL(Safety Integrity Level)スタディ)にある。すなわち、プラントを構成する装置の検討と緊急遮断装置や安全弁の検討となる。プラントのデータ収集も、制御や最適化、機器のモニタリング、マネージメントのためのデータ活用にあるように思われる。Honeywell 社などは Abnormal Situation Management と称し緊急時の対応をマネージメントとして検討している。

これに対して日本では、オペレータ支援のような人間系への支援に着目した検討やソフトウェアに関心がある。本研究も生産活動におけるオペレータの重要性に着目して、オペレータの育成の支援として教材と配置計画を提案した。提案した SOP やオペレーションに必要な資料作成手順はまだ実務での適用に至っていないが産学連携を推進する学会活動等で議論しつつ、よりよい方法論となっていくことを期待している。しかし欧米でも、例えば Shell 社はプラントを建設する際の検討事項として“Flawless Start Up”と呼んでいる過去のトラブルのフィードバックや、制御については“Control Narrative”の充実を行って設計時点の情報の記述を実施しているが、これらは技術伝承の活動事例と考えられる。オペレータをはじめ各就業者の組織形態と業務所掌や意識は国によって異なるため、日本独特の考え方や方法論が海外でそのまま活用されることはないが、本研究で提案したような人材育成支援策や OJT の効果的な実施方法については、今後海外でも有用になると考えられる。

OJT を用いたオペレータ育成計画に関しては、教育方法の効率化によって新人オペレータを短期的にレベルアップすることも考えなければならない。OJT に依存する現場での教育期間を大幅に短縮することは難しいため、ヒューマンリソースを有効に使った OJT の効率化が重要になる。本研究では OJT の機会に関して検討を進め、OJT を基本とするオペレータ育成の効率化を目的として、複数の班を編成して交替勤務をする形態をとるプラントオペレータの中期的な配置計画問題について提案した。

配置計画問題については看護師のような交替勤務でのチーム構成員の日々の編成問題が検討されている。また、バッチ方式の化学プラントでは、設置された装置を有効に活用して多品種の製品を生産するスケジューリング問題も多く存在する。本研究ではオペレータのチーム構成を取り扱ったが、オペレータの入れ替わりがあり、かつ、OJT 経験年数によってその役割（レベルで代表させた）が段階的に変化するという構成メンバー（構成要素）の特性が経時的に変化するタイプの配置計画問題はこれまで取り上げられていない。本研究で提案した手法では、オペレータのスキルレベルの経時的な変化を取り入れた検討が出来ることから、今後の中長期の配置計画問題を考える上で役立つ。

本研究によって、定量的な評価指標に基づくオペレータ最適配置計画の立案が可能になった。更に問題には、個々の企業や事業所の教育方針を反映した新たな制約を加えることができ、担当プラントに対する平均通算 OJT 期間の最大化以外にも、



非担当プラントまでを含めた平均通算 OJT 期間の最大化や、OJT 機会の最大化などを用いることもでき、比較的容易に解が得られることを示した。

実務でより複雑な制約が存在する場合の例を以下に示す。

- ・エチレンプラントではプラントを分解、急冷、圧縮、コールド、ホットなどのセクションに分けている。一つのオペレーションチームもそれぞれのセクションを担当する 3 から 4 のサブチームで構成する。経験の浅いオペレータをより簡単な分解セクションから配属して順次セクションを移動させていくような配属の順番に関する制約。

- ・育成者の資質も重要である。育成能力の高い経験者の所属するオペレーションチームに新人を重点的に配置するように、チームごとの特徴を表現する制約。

- ・シフトメンバーは減少させるが日勤のオペレーションメンバーを追加して昼間に、複雑な運転業務を実施する場合の制約。

上記のような場合においては新たな制約を追加する必要がある。また、問題が複雑になればヒューリスティック手法は適用が困難とることが予想され、本研究で提案したような数理計画手法が有効となり、プラントオペレータの OJT に基づく育成は、今後の持続的なプラントの安定・安全運転を支える最重要課題であるため、提案したアプローチはこの課題解決のために役立つと考えられる。

表 5-1 技能・技術伝承すべき内容の入手方法 <sup>(10) (12) (16) (19) (22)</sup>

アプローチ方法	特徴	課題
(1)物理化学的な説明によるアプローチ	論理的な整合性がある。 想定事象に対しても検討可能である。	実装置の詳細部分まで解析することが困難であり、実運転データがないと判断できない部分が残る。
(2)網羅的に検討するアプローチ	手間はかかるが漏れなく検討することが可能となる。	HAZOPのように設計段階の安全性検討には適用されているが、運転については方法論がまだ提案されていない。
(3)経験的な説明によるアプローチ	対象設備の知見・経験を有する熟練者から情報を得るため実際に即した内容となる。	抜けや不整合が発生する。 複数の担当者で作成する場合に、相互に見解の相違が出たり、業務の細分化をする場合の区切りが異なる場合があり各担当者の作成資料の合成が困難となる場合がある。 経験のない範囲での事象には対処できない場合がある。
(4)観察によるアプローチ	熟練者が纏めたり伝えることが出来ない範囲まで情報を得ることが出来る。	観察に労力を要する。 観察方法が仕組みと被観察者への影響の面で困難である。
(4-1)模範的内容との対比から調べる	模範解答が存在するので、外れた箇所の特定も可能で、その情報を活用できる。	模範解答の作成が網羅性と模範例の考案の点で困難な場合がある。
(4-2)観察し行動の特異点を探すアプローチ	無意識の行動からも経験や工夫を発見できる可能性がある。 ヒアリングのみでは示せない内容も思いつくことによって表出させることが出来る。	観察内容や行動の特異点と有意な知見や伝承すべき内容とが一致する観察内容を見出すことが困難である。 観察した範囲の事象のみとなる。

## 謝辞

本研究を進めるに当たっては奈良先端科学技術大学院大学の西谷紘一教授、杉本謙二教授および野田賢准教授に多大な支援と助言を頂きました。オペレータの教育関係では坂田晃一氏の長年の化学プラントにおける運転経験をお教えいただきました。経済産業省からの委託事業である「石油プラント保守・点検作業支援システムの開発（平成16年度～平成18年度）」事業（(独)産業技術総合研究所松岡克典プロジェクトリーダー）の調査結果と知見を活用させていただきました。また、関連研究として学術振興会産学協力会第143委員会、(株)オメガシミュレーションのトレーニングシミュレータ開発業務を参考とさせていただきました。ここに関連する各位に謝意を表します。

## APPENDIX-A : プラント運転教育訓練シミュレータ

### A-1 プロセスシミュレーション概観<sup>(32)</sup>

化学プラントのシミュレータはプラントの挙動を模擬するシステムであり、プラント内部状態を推算するために用いる。装置設計、制御系設計、運転計画立案などに利用されている。シミュレータが現実の装置の特性を全て再現できるわけではないため、どの場面でどのような目的で利用するかを明確にしてシミュレーションモデルの内容を考えなければならない。

プロセスシミュレーションには着目する時間領域により静的と動的がある。前者はステディーステートシミュレーション（あるいはスタティックシミュレーション）と呼ばれ、連続運転しているプロセスの状態が定常状態であると仮定して、物質収支・熱収支計算を行ってプロセス解析やプロセス設計を行う。これらの収支式は線形・非線形連立方程式で表現でき、これを解く問題となる。これに対して時間的な経過も考慮して動的に内部状態を推算するものはダイナミックシミュレーションと呼ばれ、プロセスの時間変化も含めて取り扱う。運転条件変更などの非定常運転時の操作性や安全性の検討、制御系の設計および運転訓練にも使われる。

ダイナミックシミュレーション技術を基盤とした運転訓練シミュレータは導入目的が比較的明確であり、動的挙動を模擬するシステムである。プラントの内部状態の時間的な変化を推算し SOP に沿って運転訓練するために用いる他、トラブルの原因究明や経済性の追求（プラントの省資・省エネ運転の達成等）を目的とした運転解析（一般にはプロセス解析と呼ばれることが多い）の分野でも利用されている。表 A-1 にステディーステートシミュレーションとダイナミックシミュレーションの特徴を比較して示す。プロセスシミュレーション全般としては対象とするプロセスに特化したモデルを含むように作成することもあり、モデリングをはじめ技術の共有化へのアプローチはなかなか進んでいない。この傾向はダイナミックシミュレーションの方が顕著である。

シミュレータの利用に関しては、大手化学企業を中心にプロセスシミュレーションを行うソフトを内製していたが、1980年代後半に欧米でパッケージソフトが開発され、広く市販されるようになった。1990年代にはほとんどの企業がこれらパッケ

ージソフトを採用するようになった。最近では化学・石油会社やエンジニアリング会社で広く普及し、プロセスエンジニアが設計や解析に日常的に使うまでになってきている。なお、これらのシミュレータはおもに定常状態を扱うステディステートシミュレータで、狭い範囲ではこれをプロセスシミュレータと呼ぶ場合がある。通常生産時や低負荷時の運転状態などを知り、また、プロセスの物理化学的知識を得るためにステディステートシミュレータの結果も活用されている。特に連続系のプロセスプラントでは PFD(Process Flow Diagram) と物質および熱収支を運転の参考としているが、これはステディステートシミュレータで作成される場合が多い。

一方、ダイナミックシミュレータのパッケージソフトは 1990 年代中頃から登場し、一部の企業で活用しはじめており、これからの応用が期待されている。オペレータの教育目的では SOP に沿った運転や緊急時対応の運転について時間的変化に対応できるダイナミックシミュレータが有効であるが、ダイナミックシミュレーションでは、制御のための機器や計装機器に加えて、タンクや容積を考慮した配管などステディステートシミュレーションでは扱わないユニットが必要になる。さらに、運転訓練などの目的で使用する場合には、手動操作弁、予備ポンプや安全設備などを含める必要もあり、またよりリアルなプラント表現となるように、詳細なモデル化が行われる。したがって、一般にダイナミックシミュレーションではステディステートシミュレーションの 10 倍以上の数のユニットが必要となり、モデルの規模がより大きなものとなる。

## A-2 運転訓練シミュレータの変遷<sup>(32)</sup>

プラント向けの運転訓練シミュレータは、設計用のプロセスシミュレーションとは別の発展を遂げているが、最近では厳密なモデルを用いたダイナミックシミュレータをエンジンにするようになっている。簡単にこれまでの変遷をまとめた。

### 第 1 世代 (1980 年後半～1990 年中頃)

化学会社や石油会社で比較的規模の大きな訓練センターの整備が進んだ。当時はプラントの制御システムが従来のアナログ計装から DCS 計装に移行した時期でもあり、オペレータの操作修得のための訓練用として貢献した。ただし、プラントモデルは厳密な物理モデルではなく、現実のプラントの詳細な運転内容は反映できない

ものであった。

### 第2世代（1990年中頃～2000年頃）

厳密な物理モデルを用いたのが第2世代である。プラントごとに開発したいいわゆるカスタムシミュレータが使われた。スタートアップなどの非定常操作訓練を通じて、その時間の短縮やスムーズな状態移行に効果を上げた。国内では Visual Modeler をエンジンにし、オペレータ監視操作システム（DCS）に横河電機製 CENTUM XL/CS を使った Plantutor が開発された。

### 第3世代（2000年頃～現在）

DCS のパソコン化に呼応するように、それまでの EWS（Engineering Workstation）からパソコンに移行した。Plantutor も Windows に移植された。また、使用目的も拡張されつつあり、従来の操作訓練ばかりでなく、ダイナミックシミュレータによってリアルに表現されているプラントモデルを運転支援に使ったり、化学工学の原理・原則を教育したりするような使われ方をされ始めた。DCS は必ずしも実機と同じものでなくてよく、グラフィックソフトを使って DCS を模擬し、相対的に安価に構成できるエミュレーション方式がトレンドとなって、プラントの脇にある計器室に置かれるようになってきた。更には、実運転のデータをリアルタイムに取り込みながら運転状態の予測をするような仕組みが期待されている。

## **A-3 プロセスシミュレータの開発<sup>(32)</sup>**

ダイナミックシミュレータの構築の概要を、開発支援ソフト Visual Modeler をつかって開発する場合についてみる。図 A-1 に示したように PFD 画面を用いてプロセスモデルを構築するところは定常シミュレータと似ているが、その画面は P&ID（Piping and Instrumentation Diagram）に近い。ダイナミックシミュレータでは化学工学の原理に基づいた詳細な物理モデルを用いて、プラントの非定常状態のシミュレーションを行う。Visual Modeler では、エチレンプラント全系のようなユニットの数が数千を超える大規模なプラントをシミュレーションすることができる。また、運転訓練に使うためにはリアルタイム実行が必須となり、1秒後の状態を1秒以内に計算できなければいけない。最近のパソコンを用いれば、リアルタイムの数倍から数十倍の高速化まで可能になってきている。

プラント運転訓練シミュレータは非定常運転の操作訓練や異常状態への対応訓練に使われる。前者の非定常操作とは、連続プラントを停止状態から立ち上げて通常の運転状態にもっていき操作（スタートアップ）や、逆に連続運転状態から止める操作（シャットダウン）、ポリマープラントの銘柄切り替えやロード変更など、運転条件の移行操作などをいう。後者の異常状態はプロセス異常や計器、機器の故障、誤動作などを想定したものである。運転訓練シミュレータでは一般に、表 A-2 に示した機能が盛り込まれている。

#### A-4 プラント運転訓練シミュレータの運用<sup>(32)</sup>

##### (1) 訓練目的

運転訓練シミュレータを用いた訓練の目的には次のものがある。

- DCS オペレーションの基本操作
- 定常時の運転操作
- プラントの立上げ／立下げ時の運転操作
- 異常発生時の操作

##### (2) システムの構成

システム構成例を図 A-2 に示す。Windows XP パソコンシステムとして実装されている。

##### (3) 訓練管理機能

訓練システムは以下の訓練管理機能を有している。

- モード変更：訓練に合わせて任意にモデルの停止／再開（Freeze / Run）を行う。
- タイムスケール変更：シミュレータモデルの計算周期を実時間、低速、高速で実行する機能である。高速モードは PC の能力とモデルの複雑さや数などシステムの大きさに依存する。
- 初期状態の保存および復元（Save / Load）：任意の初期状態を保存および復元

する事ができる。保存できる初期状態の数はハードディスクの容量に依存する。

- スナップショット：訓練途中の任意の時点の状態を保存する。例えば異常状態訓練開始直前の状態をスナップショット機能で保存し、訓練生がその異常状態の処置に失敗した場合でも、次に述べるステップバック機能で復元して、同一の訓練を繰り返し実施することができる。
- ステップバック：スナップショットで保存した状態を復元する。
- マルファンクション：インストラクタ（教官）が機器の異常状態を設定する。通常運転中に設備／機器の故障を意識的に発生させて、プロセス動作をより深く理解する助けとなる。

#### （４）監視操作ヒューマンインタフェース

監視操作端末として、17インチLCDを使用し、DCS操作端末として以下の画面および操作を模擬する。

- グラフィック画面
  - ・ 実機DCSで使用するグラフィック画面と同等な画面
  - ・ フェースプレート呼出機能
  - ・ バルブ・ポンプ等の色替えなど
- 制御ループ画面
  - ・ 8ループ画面（制御モード、MV、SV変更可能）
  - ・ 制御ループチューニング画面（設定パラメータ変更可能）
- トレンドグラフ画面
  - ・ 8ペントレンドグラフ表示
- アラーム表示・確認画面
  - ・ アラームサマリー画面
  - ・ アラーム確認操作
- オペレーションガイド表示・確認画面
  - ・ オペレーションガイドサマリー画面
  - ・ オペレーションガイド確認操作
- DCS キーボード（DCS キーボードは使用しない）



画面例を図 A-3、図 A-4 に示す。また、運転教育訓練シミュレータの概観およびヒューマンインタフェースを、それぞれ、図 A-5 と図 A-6 に示す。

## A-5 運転教育訓練シミュレータの導入事例

プラント運転についての知識・技術・技能の継続的な教育・訓練が重要な課題になっている。オペレータの教育を目的として、従来から教育訓練シミュレータが活用されてきた。教育訓練シミュレータの目的は、運転制御装置がパネルから DCS（分散計装システム）に変化した経緯もあって、初期には DCS に慣れるという目的の比率が高かったが、時代と共に運転操作の HMI の習熟のみならずプロセスの挙動の把握と運転方法の習熟に比重を移してきた。更に近年では、プラント建設当時から経験を積んできた要員の退職など 2007 年問題と呼ばれる世代交代、設備の自主保安、定修期間を延長することによる運転操作機会の減少などの背景の中で、技術・技能の伝承のニーズがこれまで以上に高まり、IT 関連技術の成熟とあいまって教育訓練シミュレータの導入が増加している。

### (1) 教育訓練シミュレータの位置づけ

教育訓練シミュレータは物質・熱収支に基づく単位操作を組み合わせた物理モデルを基本としているため、DCS の操作端で実現可能な運転範囲や、DCS で監視可能な事象（現場の計器や操作での発見も含む）は習得出来る。実プラントで測定不可能な容器内の状態量を示すことによってプラントの理解に役立てることもある。

しかしながら、基本モデルは平衡状態の仮定や配管を無視する等の前提条件の上で成立しているため、実プラントの事象と異なる計算結果となる部分も未だ多く存在する。言い換えると、DCS で見える部分の運転は概ね模擬しているが、想定外の運転条件では、モデルの信頼性が低下する。信頼性の低い領域に入ったことの判定も困難である。また、機器・装置の位置関係の確認や装置内状態量の現場での五感による把握はシミュレータでは実現が難しい。

### (2) 導入事例

教育訓練シミュレータの導入例についてその目的と教育項目をまとめた。

#### A化学：

- 導入目的：ボイラープラント異常対応訓練において、「正しく伝える、正しく聞き取る」という運転の基本動作と「チームの一員として役割を果たす」というチームワークの重要性を学ぶ。
- 教育項目：異常対応能力（見える異常が分かり処置ができる、見え難い異常と原因系が分かり処置ができる）

#### B化学：

- 導入目的：体験不足を補うための擬似的な体験のためにシミュレータを利用する。教育システム構築による技術伝承（プラント教育）の効率化にもいかに。
- 教育項目：プラントのスタートアップ、シャットダウン操作、緊急時操作（緊急停止、機械故障などの部分トラブル）、定常時の運転操作、動的解析、基本的な単位操作の習熟

#### Cガス：

- 導入目的：保安の確保および安定操業
- 教育項目：三交代製造責任者に必要な「対応力」を3つの基幹能力として捉え、これらを訓練項目とした。判断力（情報処理・状況判断・優先順位管理等）、連携力（情報発信・情報収集・相談・交渉等）、管理力（リスク管理・作業管理・チームワーク、役割分担等）

### （3）教育訓練シミュレータについて

プラントの運転の習熟は現場でのOJTによるところが大きい。このため、教育材料・教育設備の汎用化や体系化に困難性があり、教育効果の判定も属人的な側面がある。教育訓練シミュレータの導入に当たっては、コンピュータ系のハードウェアの購入だけではなく、プラントの教育ニーズにあったソフトウェアの開発およびインストラクターの養成が必要となり、多大のコストがかかる。効果的な教育を行なうためにはこれらの各要素へのバランスの良い資源配分をどのように考えるか、及び、教育方法の改良と効果の有効な測定方法の開発も今後の課題と思われる。

表 A-1 二種類のシミュレーションの特徴

	ステディーステートシミュレーション (スタティックシミュレーション)	ダイナミックシミュレーション
時間領域	静的(定常)	動的(非定常)
モデル式	代数方程式	常微分方程式、代数方程式
用途	プロセス設計 プロセス解析	運転操作の検討 制御方法やロジックの検討 運転訓練・プロセス教育
代表的な シミュレータ	AspenPlus HYSYS PRO/	Visual Modeler HYSYS Dynsim

表 A-2 運転訓練シミュレータの機能

機能	内容
実行制御	訓練を進めたり、一時的に止めたり、シミュレータの実行スピードを速くしたりなど訓練をコントロールする機能。ほかに、訓練途中の状態を一時的に保存して(スナップショット)、その保存状態に戻す(ステップバック)ことができる。
初期状態読込・保存	訓練開始時の状態を初期状態といい、あらかじめいろいろなプラント状態をファイルに用意しておき、それを読み込んでその時点から訓練をスタートできる。
マルファンクション	プラントの異常状態や機器の故障を故意に発生させる機能。
自動運転	シナリオを事前に用意しておき、プラント状態をそれに仕掛けて自動的に運転する機能。
モニタリング	プロセスの状態や訓練者の操作などを監視する機能。
リプレイ評価	訓練を終えた後で訓練を再現して振り返ったり、評価したりする機能。
DCS模擬	エミュレーション方式でDCS画面を模擬する機能。
現場操作模擬	現場操作(たとえばバルブ操作や回転機のスイッチ操作、機器の点検など)をグラフィックで模擬する機能。
DCS接続	実機DCS接続方式でDCSと通信する機能。

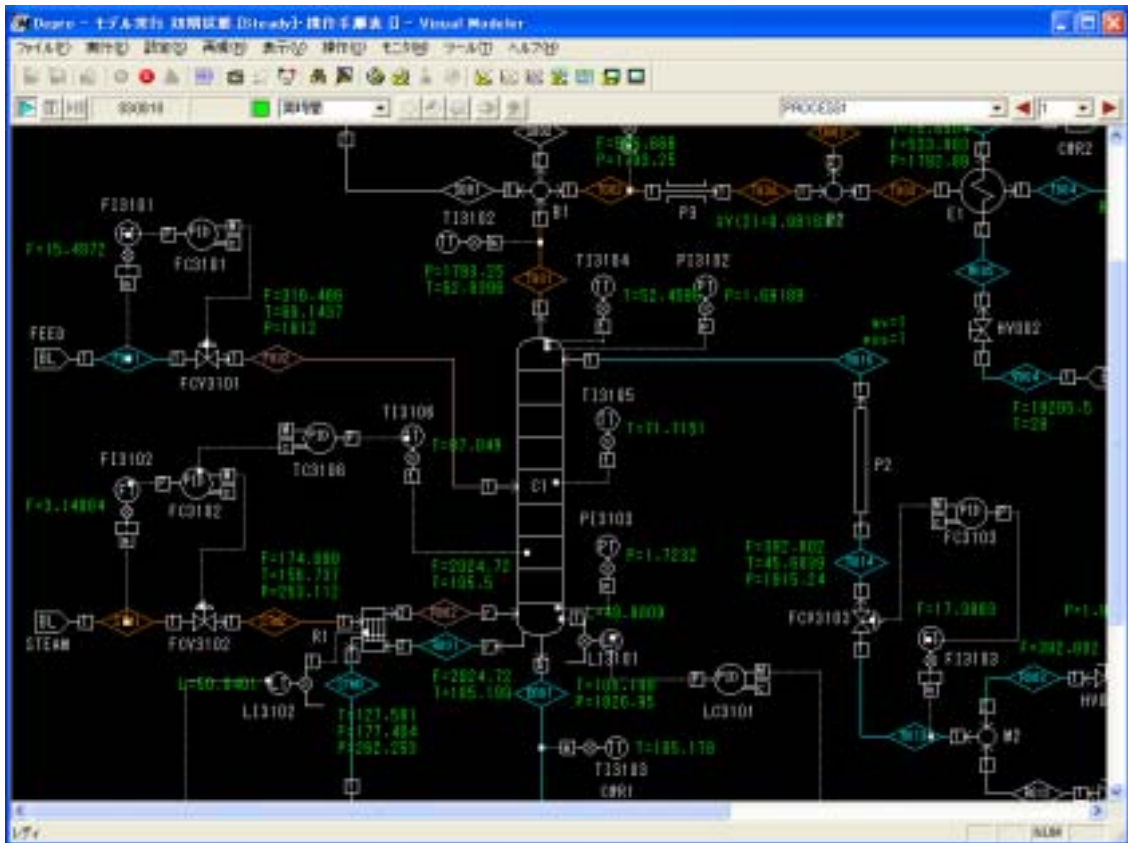


図 A-1 開発支援ソフト Visual Modeler の画面例<sup>(32)</sup>

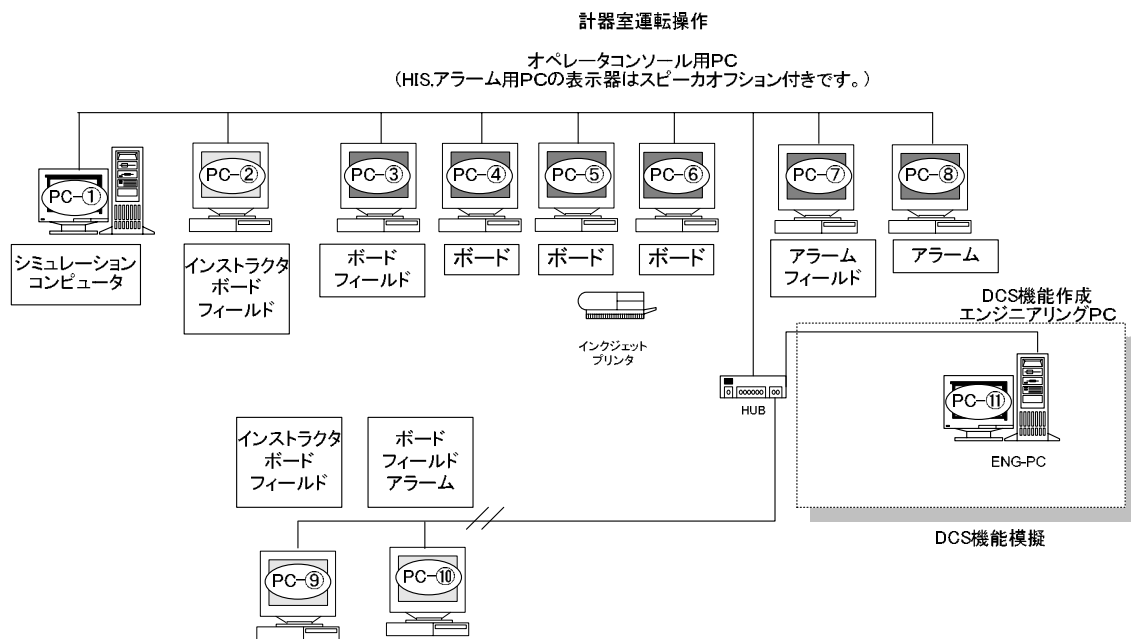


図 A-2 訓練シミュレータのシステム構成図<sup>(32)</sup>

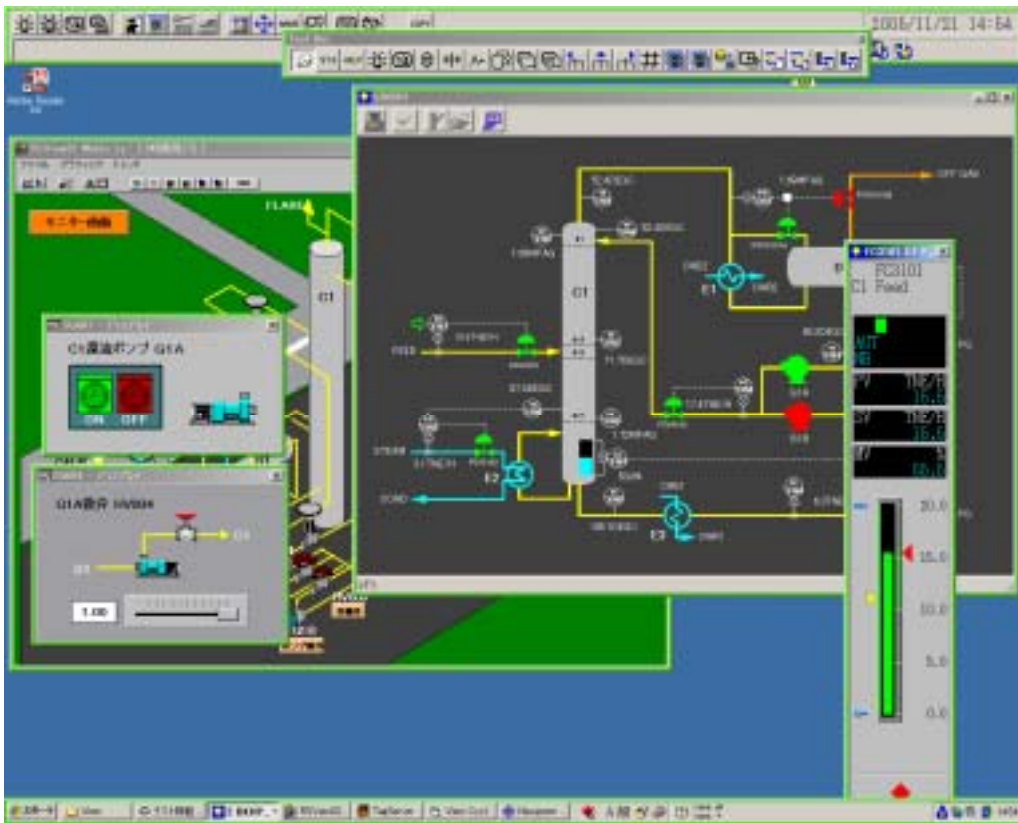


図 A-3 フィールド、ボード (グラフィック+フェースプレート) (32)

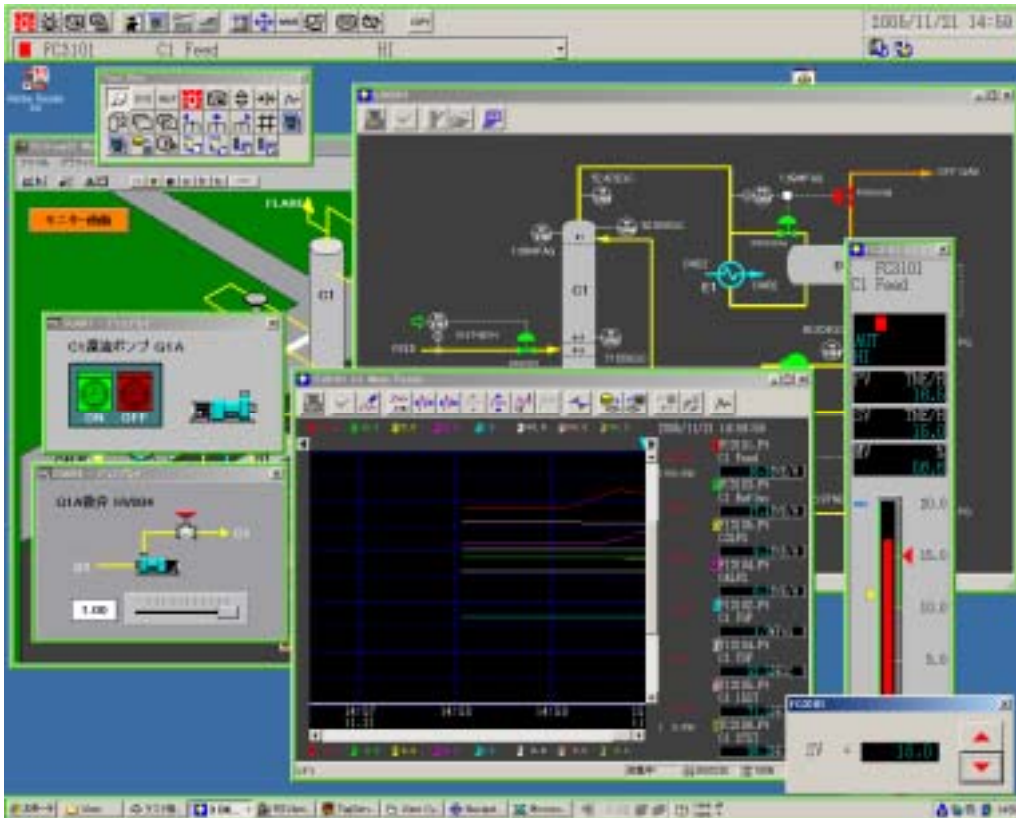


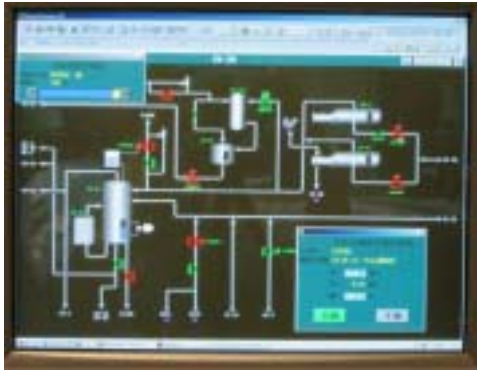
図 A-4 フィールド+ボード (トレンド+設定値入力) <sup>(32)</sup>



図 A-5 運転教育訓練シミュレータの概観<sup>(33)</sup>



フィールドオペレーションパネル



ANN/ESD パネル



DCS 画面



インストラクタパネル



図 A-6 プラント運転教育訓練シミュレータのヒューマンインタフェース<sup>(33)</sup>

## APPENDIX-B : 石油プラント保守・点検作業支援 システムの開発プロジェクト

OJT 支援教材作成にあたって、スキルの内容を把握する方法として、①装置の設計や仕組みから考察する、②熟練者の経験に基づいて作成する方法がまず考えられる。しかし、熟練者が暗黙知として使用しているスキルに関しての収集が困難であることが多い。そのため、熟練運転者の行動を画像で収集、蓄積して、その行動分析からきっかけを得て、スキルを得ようとする試みが、経産省委託事業“石油プラント保守・点検作業支援システムの開発プロジェクト”<sup>(26)</sup>で行なわれた。ここではその内容について紹介する。

### B-1 オペレータ行動データからスキルの抽出<sup>(20)</sup>

プロジェクトでは以下のアプローチがとられた。

(1) 石油精製プラントでは各製油所においてすでに教育システムを持ち、教育が実施されている。各製油所でどのような教育が行われ、どのような教育ニーズがあるのかについて調査が行われた。

(2) 作成する教育ツールについては、そのニーズを満足すべく設計を進めるが、それを口頭や文書で説明するだけでは内容を十分に伝えることが難しい。その理解を助けるために、出来上がりの教育支援イメージを作成するとともに、ツールとして必要な機能の検討を行った。

(3) イメージの作成や検討を行うために、実プラントでの実験の前に稼働プラント以外の設備（模擬設備）で予備実験を行い模擬的な点検行動データの収集を行った。この中からコンテンツになると思われる内容を作成した。

(4) 作製した検討資料を用いて各製油所にて、運転や教育の担当者の意見を聞いた。

(5) 模擬設備による予備実験から教育コンテンツに関する知見を得た後に実プラントでフィールドオペレータの協力を得て現場巡回点検作業の行動記録を収集し、この中で特徴的な行動を示した場面についてヒアリングすることにより教育コンテンツを試作した。また、蓄積した行動データを比較検討する仕組みを用いた教育システムも試作した。

## B-2 模擬設備での実験概要<sup>(20)</sup>

模擬設備を利用して次の実験を行った。

(1) 熟練者と非熟練者との比較：熟練作業者と非熟練作業者との作業のやり方や内容の比較を行った。実験では点検ルートと作業内容を決め、熟練作業者と非熟練作業者がそれぞれ同じ作業を行い、その映像を撮った。

(2) 作業ルート、作業内容の違い比較：同じ作業者でも点検ルートや点検内容を変えた場合や、同じレベルの作業者が同様な点検ルート、作業内容を行った場合の映像取得のため、模擬設備の給排水設備を利用した実験を行い、映像を取得した。

(3) 実際の点検作業の映像取得：模擬設備に設置された自家発電装置の点検を月1回定期的に行っているが、その作業を2回映像取得した。点検作業はそれぞれ別の作業者が担当した。

(4) 実際の運転操作の映像の取得：製油所での点検作業とともに、定期的、もしくは不定期でも比較的頻度の高い操作であるサンプリングやバルブの開閉操作の映像を取得した。

これまで可搬形の防爆カメラがなかったので、現場作業の記録が映像として残ってこなかった。本プロジェクトでは、フィールドオペレータがヘルメットに付けたカメラで現場作業の映像を収録するとともに、無線でそれらのデータが実験者のもとに送られてくる仕組みを構築した。その映像をもとに、作業者の行動解析を行い、現場作業者の作業のやり方、ノウハウなどを捉えることを試みた。

### B-3 オペレータのための教育コンテンツの試作と評価<sup>(20)</sup>

教育ツールのコンテンツは、できるだけ映像を活用したものが有効と考えられる。教育ツールのコンテンツとしてどのようなものが必要かを調査するために、上記実験において取得した映像を活用していくつかのコンテンツを試作した。作成したイメージを製油所の現場担当者や教育担当者に見せて、意見を収集する調査を行った。

作成した教育ツールのコンテンツは次の2つに分類される。

(1) 作業標準として、基本的に作業前に教える作業内容ややり方に関するもので、現場作業のうちでも、映像収集がされる点検作業を例にして、以下の2種類を作成した。

- ・ 点検対象場所 (図 B-1 参照) : 作業点検場所の機器仕様の確認や作業優先度の確認

- ・ 点検方法 (図 B-2 参照) : 点検方法の映像表示や異常発見時の対処方法

(2) 作業終了後に教えるものとして、または具体的な作業例として標準作業との比較などを行い、振り返ってみるものとして、以下の3種類を作成した。

- ・ 作業内容チェック (図 B-3 参照) : 基本点検項目と実際の点検作業の比較

- ・ 作業行動解析 (図 B-4 参照) : 作業者による作業時間や姿勢の違いの比較

- ・ 作業者の違いの比較 : 同一作業における二人の作業者の作業比較

上述の教育ツールの試作品を用いて製油所でのヒアリングが実施された。このヒアリングでは、多様なニーズと方向性が把握されたが、意見は分散し、集約は困難であった。ヒアリング用のサンプルを増加させ、更にヒアリングが継続された結果、次のようなニーズが明らかになった。

(1) 運転マニュアルの映像による詳細記述

(2) 運転ノウハウの体系化

(3) 複数人の映像等の収集データを用いた比較検討教育

これらのニーズを更に明確にする必要が認められた。また、教育ツールやコンテンツは出来合いのものを利用するだけでは満足できず、製油所個々の条件に合わせ

て、カスタマイズしたいという要望が強かった。

この他、非定常時の運転を支援するために運転支援ソフトが活用されている。一例として運転ノウハウを持った運転部門が中心となってオペレータ主体の手動運転の半自動化シーケンスを容易に構築、実行できるツールとして横河電機の Exapilot がある。これに現場作業者のノウハウも入れ、教育用に利用できるかどうかの検討がなされた。

現場作業において作業者は大まかな手順に基づいて一連の作業を行なうが、この作業の詳細についての文章による記述は困難である。このため細部が不明確となっている。本開発の現場作業観察結果を効率的に且つ詳細まで記述するためにどのようなすべきかの検討を行ない、文章表現よりもブロックフローチャートの表的に表記する案を採用した。このツールとして、DCS による運転操作シーケンスの記述用に市販されていて実績の多い横河電機製の Exapilot を適用した。Exapilot の活用方法として、収集した作業（作業情報データベース）の解析に適用することと、教材として抽出された結果の提示方法として用いることが考えられる。

本開発では、Exapilot がデータを受け取るためにはソフト改造が必要であるが、他のデータへのリンクが容易であるという特徴を勘案して、教材を提示する目的で試作版を作成した。教育内容として抽出された事項を、行動（現場作業）手順として Exapilot 上に表し、個々の作業内容に観察された映像やコメントを付加することが検討された。

#### B-4 教育ツール<sup>(21)</sup> <sup>(22)</sup>

このプロジェクトにおいて、未熟練作業員への作業ノウハウの効率的伝承を目的として、実際の石油精製プラントでの保守・点検作業から得られた作業情報や熟練作業員の作業ノウハウを基に、熟練作業員の模範作業を具体的な作業状況を再現して提示できるマルチメディアマニュアル、ノウハウ獲得支援システム及びこれらを統合した現場追体験学習システム（以下「行動パターン比較システム」という。）が開発された。これは、平成 16 年度に石油会社の保守・点検作業教育ツールへのニーズを調査するとともに、教育ツールとコンテンツに関する必要要件が検討され、平

成 17 年度には、ニーズ調査や要件検討の結果を踏まえて、教育ツールの概念が作成された（図 B-5 参照）。また、収集した実験プラントにおける定常作業時の作業情報及びストレージ型デバイスで取得した計画的非定常作業時の作業情報に基づき、教育教材の試案を作成し、製油所の作業現場においてフィールドオペレータ等へのヒアリング調査が行なわれた。

平成18年度は、平成17年度のヒアリング結果から明らかになった検討課題を踏まえ、以下の教育ツールの開発仕様を作成し、プログラム開発が行なわれ、教育ツールのコンテンツは、実験プラント実験で収集した作業情報等を用いて作成された。

#### (1) マルチメディアマニュアル

初級者が点検・操作の基本を簡単に学べるように、保守・点検作業情報データベースに蓄積した映像と計画的非定常作業に係る映像に基づき、マルチメディアマニュアルが開発された。

#### (2) ノウハウ獲得支援システム

現場作業の基本を身につけた中級者がステップアップするために熟練者のノウハウを学べるように、人間工学的解析技術によって抽出した作業ノウハウに基づき、ノウハウ獲得支援システムが開発された。（画面構成を図 B-6 に示す）

#### (3) 行動パターン比較システム

作業経験を積んだ上級者が自己啓発に役立てるとともに、若手への技能伝承の情報を見つけるために、保守・点検作業情報データベースに蓄積した作業情報に基づき、行動パターン比較システムが開発された。（画面構成を図 B-7 に示す）

#### (4) 教育支援データベースの構築

上記 3 つの教育ツールのコンテンツの作成編集、及び作成したコンテンツを一元的に管理するために、保守・点検作業情報データベースに蓄積したデータを用いて、教育支援用データベースが構築された。



図 B-1 コンテンツ例 (点検対象場所) <sup>(20)</sup>

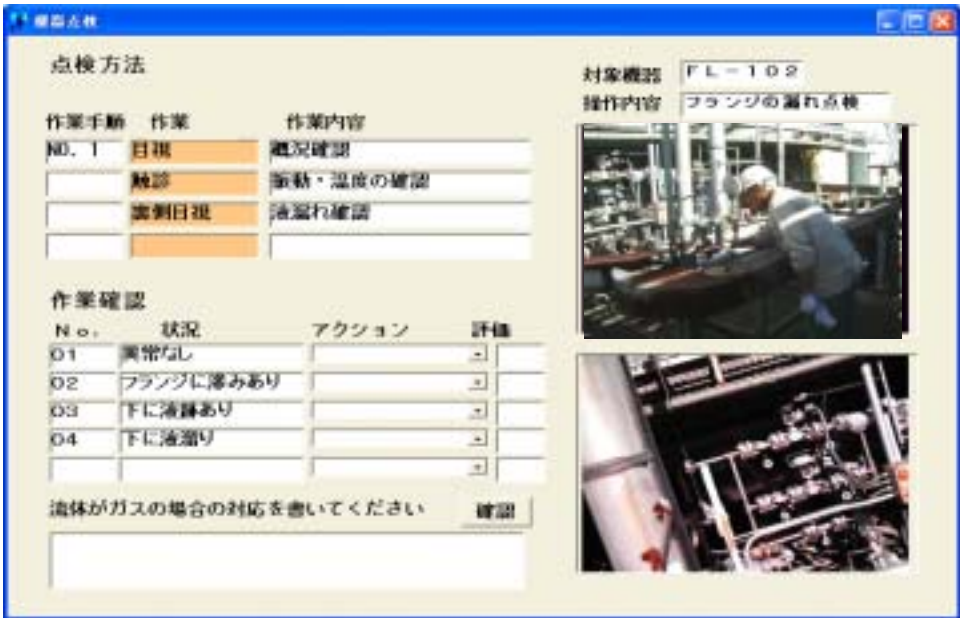


図 B-2 コンテンツ例 (点検方法) <sup>(20)</sup>



図 B-3 コンテンツ例 (作業内容チェック) <sup>(20)</sup>

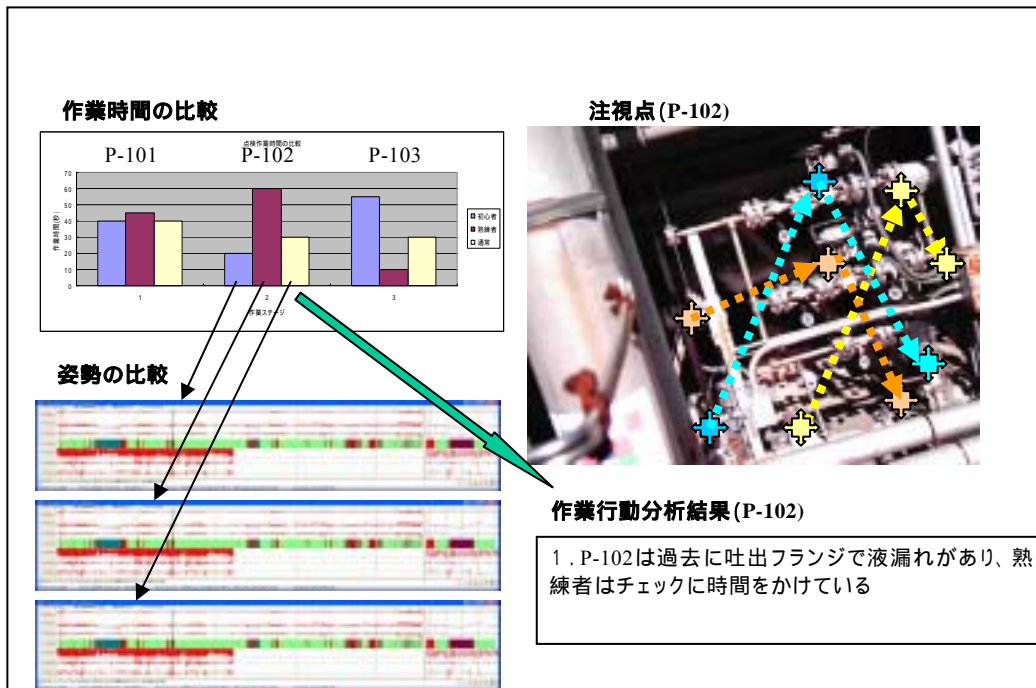


図 B-4 コンテンツ例 (作業行動解析) <sup>(20)</sup>



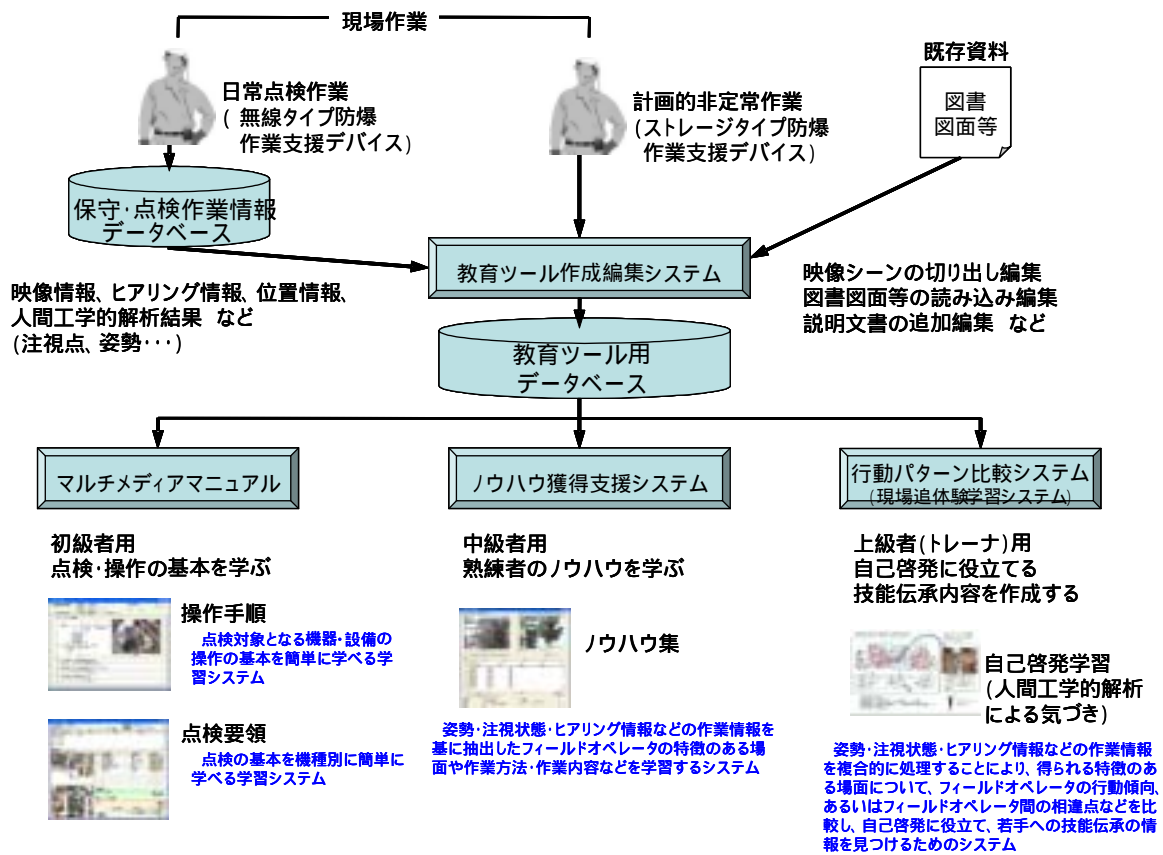


図 B-5 教育ツールの概念図<sup>(22)</sup>

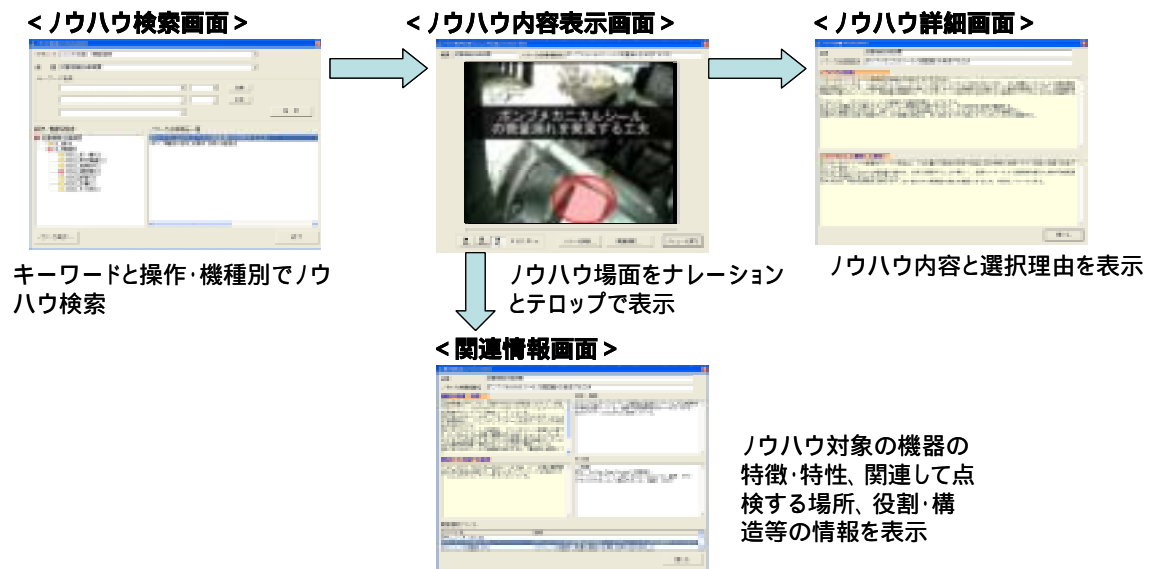


図 B-6 ノウハウ獲得支援システムの画面構成<sup>(22)</sup>



図 B-7 行動パターン比較システムの画面構成<sup>(22)</sup>

## 参考文献

- (1) 鈴木 剛、坂田晃一、野田 賢、西谷紘一：現場作業OJT教材開発プロセスの提案, ヒューマンファクターズ, 10(2), pp. 83-93, 2006
- (2) 野田 賢、鈴木 剛、西谷紘一：OJTによる育成を考慮したプラント運転員配置計画 – ケーススタディー, ヒューマンファクターズ, 11(2), pp. 139-147, 2007
- (3) 出展：厚生労働省ホームページ(2006)
- (4) 経済産業省「産業事故連絡会」中間報告概要(2003. 12. 16) 中間取りまとめが経済産業省ホームページ 2003年12月16日付け
- (5) プラントオペレーション分科会：プラントオペレーションおよび技術伝承に関するアンケート調査報告書, 化学工学会S I S 部会, 2005
- (6) 労働省職業能力開発局監修：T W I トレーナー実務必携, (社) 雇用問題研究会, 1973
- (7) 堀内和明：作業指導, 日本技能教育開発センター, 1990
- (8) Opat Orapimpan, Kouichi Sakata, Taketoshi Kurooka, Yuh Yamashita, Hirokazu Nishitani; Development of A Learning System of Know-how and Know-why in On-site Plant Operations, 日本プラント・ヒューマンファクター学会誌, Vol. 6, No. 1, pp. 34-44, 2001
- (9) Opat Orapimpan, Akira Kurosaki, Taketoshi Kurooka, Yuh Yamashita, Hirokazu Nishitani; Computer Aids for Knowledge Management in Plant Operations, Industrial & Engineering Chemistry Research, Vol. 43, No. 14, pp. 3731-3740, 2004
- (10) 化学工学会SIS部会 プラントオペレーション分科会；プラントオペレーションと技術伝承に関するアンケート調査結果, 化学工学, Vol. 70, 216-219, 2006
- (11) 宗陽一郎, 江部宏典, 檜崎博司, 中村英夫；ICT を活用した技術・技能教育支援システムの開発, 第49回自動制御連合講演会論文集 CD-ROM, SU7-3-4, 2006
- (12) 矢野和夫、西谷紘一；ビデオ映像の技術、技能伝承への利用, 第40回日本芳香族工業会大会論文集, 138-143, 2006

- (13) Ikegami, A. and A. Niwa; A Sub-problem-centric Model and Approach to the Nurse Scheduling Problem, *Mathematical Programming*, Vol. 97, 517-541, 2003
- (14) 武田正治; 三井化学株式会社 岩国大竹工場における現場の環境安全活動, 日本プラント・ヒューマンファクター学会誌, Vol. 7, 54-64, 2002
- (15) 製造事業所で役立つ教育訓練, 高圧ガス保安協会, 1999
- (16) International Symposium and Workshop on Safe Chemical Process Automation, AIChE CCPS (Consortium for Chemical Plant Safety), Sept. 1994
- (17) Hirokazu Nishitani, Tsuguo Kawamura, Go Suzuki: University-Industry Cooperative Study on Plant Operations, *Computers & Chemical Engineering*, Vol. 24, 557-567, 2000
- (18) 鈴木剛、西岡洋、谷哲次、穂本清澄 “工場革新へ先進サポート技術を活かす”, 計装 9月号, pp.17, 2007
- (19) 鈴木剛、橋本芳宏、西谷紘一編集: プラントオペレーションにおけるヒューマンインタフェース, 日本学術振興会プロセスシステム工学第143委員会ワークショップ No. 15, 1996
- (20) 石油プラント保守・点検作業支援システムの開発 経産省 H16 年度報告書
- (21) 石油プラント保守・点検作業支援システムの開発 経産省 H17 年度報告書
- (22) 石油プラント保守・点検作業支援システムの開発 経産省 H18 年度報告書
- (23) Go Suzuki, Katsunori Matsuoka, Matsutarou Yoshioka: Development of Field Operation Assistance for Oil Refineries, *Proceedings of 3<sup>rd</sup> International Symposium on Design, Operation and Control of Chemical Processes (PSE AsiB005, Korea)*, pp.631-634, 2005
- (24) Chikahito Nakajima, Hiromi Asano, Go Suzuki, Masaru Noda: Position Detection of Oil Refinery Field Operations by Wearable and Surveillance Cameras, *Proceedings of 3<sup>rd</sup> International Symposium on Design, Operation and Control of Chemical Processes (PSE AsiB005, Korea)*, pp.452-457, 2005
- (25) 鈴木 剛, 西山穂高, 小菅通孝: “熟練オペレータの映像記録と行動解析でス

- キルの蓄積と活用” , 計装 2月号, pp. 46~50, 2007
- (26)鈴木 剛, 西山穂高, 小菅通孝: “石油プラント保守・点検作業支援システムの開発”、ペトロテック 3月号、Vol. 30, NO. 3, pp. 197~205, 2007
- (27)米澤 浩, ” 本質安全防爆 ウェアラブルカメラ” , IDEC プライベートフェア, 2006年5月17日, 6月2日, 6月15日
- (28)松岡克典, 西山穂高, ” 団塊の知恵をデジタル化 タイムリミット迫り、動き始めた現場型 IT 活用” , 日経ビジネス 7月10日号, P46~P50, 2006.
- (29)松岡克典, ” 携帯カメラと加速度センサを用いた石油プラント点検作業の自動蓄積(Ⅱ)” , 第24回日本ロボット学会, 2006年9月14日~16日
- (30)鈴木 剛, 西山穂高, 小菅通孝, ” 熟練オペレータの映像記録と行動解析でスキルの蓄積と活用” , 月刊 計装 2月号, P46~50, 2007.
- (31)経済産業省, ” ベテランと若手の視線の違いを映像として残す” , 日経アーキテクチュア 2007年1月22日号, P75~76, 2007.
- (32) (株) オメガシミュレーション 教育訓練シミュレータ説明資料 2005
- (33)東洋エンジニアリング(株) エチレン教育訓練シミュレータ説明資料 2005
- (34)長迫透、谷哲次、近藤正義、若松通浩 “ICT を活用したフィールド業務支援システムの開発” , 配管技術 8月号, pp. 57, 2007

# 研究業績

## 1. 学術論文誌

- 1) 鈴木 剛、坂田晃一、野田 賢、西谷紘一：現場作業OJT教材開発プロセスの提案, ヒューマンファクターズ, 10(2), pp. 83-93, 2006
- 2) 野田 賢、鈴木 剛、西谷紘一：OJTによる育成を考慮したプラント運転員配置計画－ケーススタディー, ヒューマンファクターズ, 11(2), pp. 139-147, 2007

## 2. 国内学会発表

- 1) 野田 賢、鈴木 剛、西谷紘一：OJTによる育成を考慮したプラント運転員配置計画問題のモデル化, 化学工学会第72年会, K309, 2007
- 2) 鈴木 剛：石油プラント保守・点検作業支援システムの開発, 第40回日本芳香族工業会大会, pp. 51-60, 2006

## 3. 海外学会発表

- 1) Go Suzuki, Katsunori Matsuoka, Matsutarou Yoshioka: Development of Field Operation Assistance for Oil Refineries, Proceedings of 3<sup>rd</sup> International Symposium on Design, Operation and Control of Chemical Processes (PSE Asia 2005, Korea), pp. 631-634, 2005
- 2) Chikahito Nakajima, Hiromi Asano, Go Suzuki, Masaru Noda : Position Detection of Oil Refinery Field Operations by Wearable and Surveillance Cameras, Proceedings of 3<sup>rd</sup> International Symposium on Design, Operation and Control of Chemical Processes (PSE Asia 2005, Korea), pp. 452-457, 2005
- 3) Masaru Noda, Go Suzuki, Hirokazu Nishitani : Optimal Assignment of Plant Operators for Effective Education by On the Job Training, Proceedings of 4<sup>th</sup> International Symposium on Design, Operation and Control of Chemical Processes (PSE Asia 2007, China), 2007 (Accepted)

## 4. 特許

なし

## 5. その他

- 1) 鈴木 剛: “石油プラント保守・点検作業支援システムの開発について”, 石油学会 第5回 回転機研究討論会, 2006
- 2) 鈴木 剛, 西山穂高, 小菅通孝: “熟練オペレータの映像記録と行動解析でスキルの蓄積と活用”, 計装 2月号, pp. 46~50, 2007
- 3) 鈴木 剛, 西山穂高, 小菅通孝: “石油プラント保守・点検作業支援システムの開発”, ペトロテック 3月号、Vol. 30, NO. 3, pp. 97~205, 2007
- 4) 鈴木 剛, 小菅通孝, 西山穂高: “石油プラント保守・点検作業支援システムの開発による教育支援”, 計装 9月号, pp. 33~38, 2007