

# 運転員訓練プラントによる計装訓練コースについて

富 田 昇  
長 屋 健 一  
角 田 宏 之  
松 崎 充

## Instrumentation Training Courses for Operators at a Training Plant

Noboru Tomita  
Ken-ichi Nagaya  
Hiroyuki Sumida  
Mitsuru Matsuzaki

We have introduced, in the previous report, an instrumentation training plant for chemical plant operators and a primary training course for inexperienced operators. This report describes general training courses by distillations.

We emphasize the necessity of

- 1) instrumentation hardware knowledge
- 2) decision of optimum controller parameters
- 3) operation practices in the cases of instrumentation failures, utilities failures and mechanical failures
- 4) practices for the plant safety
- 5) fast start up and shut down operations
- 6) measuring techniques of plant parameters.

### 1. まえがき

前報においてどのような運転員計装訓練プラントを作り、どのような初歩的訓練内容を研究したかを報告した。運転員の技術としては、各プラント固有のものと、普遍的なものがあり、訓練プラントでは普遍的な技術を練習してその質を高めることを目標としている。そのためにはまず①計測制御に関する金物（ハードウェア）に強くなる必要がある。そして②正常時の最適運転方法を習得し、③故障をいかに切りぬけるかという技術、④安全処置、⑤スタートアップ、シャットダウンをいかに早く行なえるか、⑥現場での計測、実験手段に習熟して、さらに運転の質を上げることを目標としている。

この報告では、イソプロパノールまたはメタノールと水との蒸溜運転を行ないながら、どのような訓練コースが設定されているかを報告する。

### 2. 訓練プラントの運転概要

Fig. 1 に訓練プラントのフローシートがあげてある。中心になるのは、蒸溜塔で30段の棚段塔である。これは研究用パイロットプラントを転用したものである。初心者用としては安全を考慮してイソプロパノールを使い、上級者用としてメタノールを使っている。

この報告で、3.1の正常時の最適運転の項ではメタノールを使っている。メタノール-水では、塔頂の温度を一定とすることを中心にして実習する。上限、下限をもうけて、それにはいるようにコントロールするわけであるが、濃度計が使えれば、濃度に上下限をもうけて運転するようにしたい。TRC-2のループで塔の中段温度をスチーム流量を増減してある温度巾、あるいは温度変化率におさえて、TRC-3のループをもちいて、還流量を増減して塔頂温度を $\pm 1^{\circ}\text{C}$ におさえる運転を行な

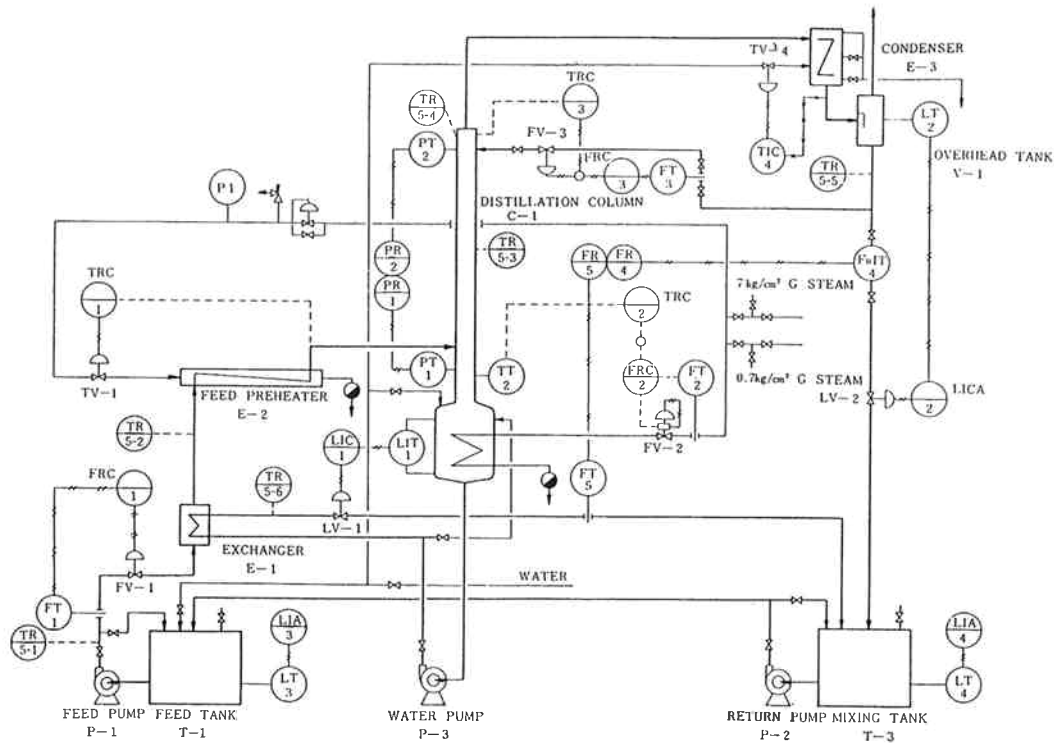


Fig. 1 Training Plant Instrument Flow Sheet

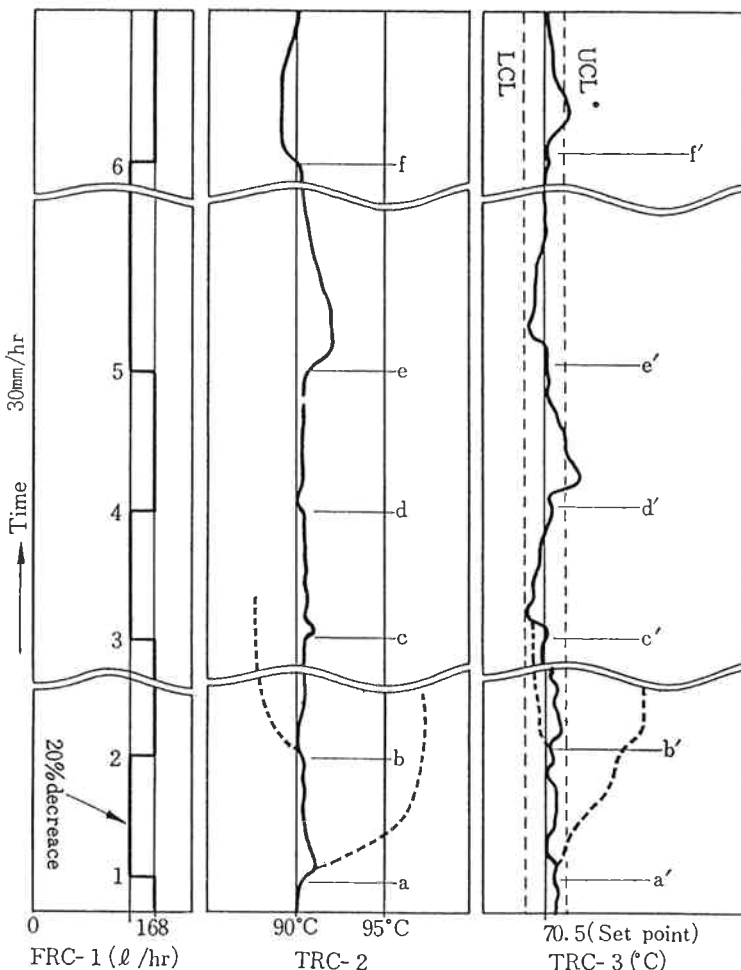


Fig. 2 Practices of normal operation (I)

う。3.2の「故障をいかに切りぬけるか」という頂ではインプロパノールを使った運転があげてある。塔頂の温度変化が、組成変化に対して非常に小さいので、運転の中心テーマを塔の中段の温度コントロールにしてある。これに上限をもうけて、種々の故障に対して適切な処置をほどこして、上限を越さないようにしなければならない。

TRC-2のループが中心になって、流量、圧力、液面、他の温度調節系が補助ループである。どのループも皆TRC-2のループに有機的につながっていて、補助ループの満足な制御動作が必要である。したがって計装故障だけでも無数の故障原因が考えられる。それを単体の故障に分類し、1つ1つの故障の原因を適確に見つけ、TRC-2が上限を越さないよう運転することを求めている。

### 3.1 正常時の最適運転

メタノール-水の蒸溜運転を行ないながら塔の中段の温度制御系TRC-2及び塔頂の温度調節系TRC-3のPID値の決定を実習する例をあげよう。Fig. 2のa, a'に来るまでに各系の限界感度法、過度応答法を用いてPID値を決定してあるとする。この例

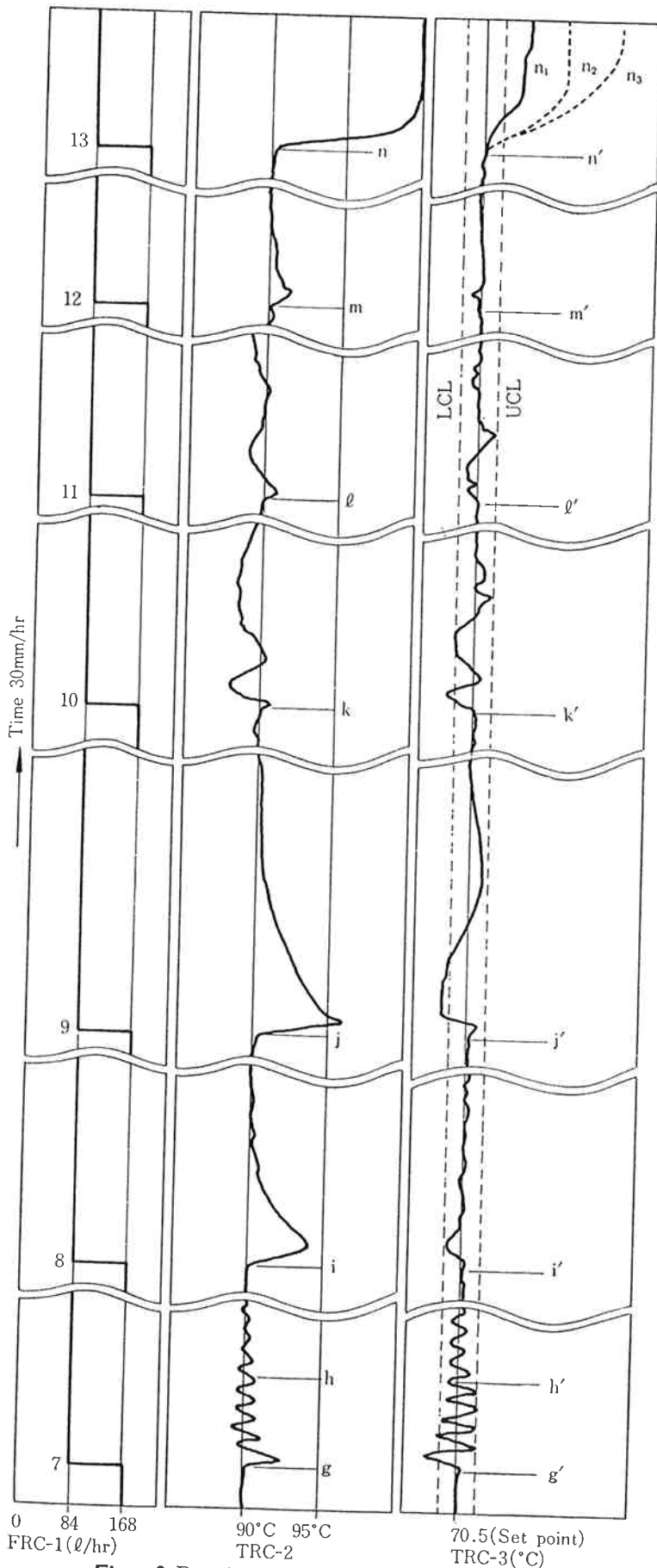


Fig. 3 Practices of normal operation (II)

では1/4減衰するPID値に設定してあるがもちろん非線形性の影響は非常に大きい。1でフィード流量を20%減少させて、応答を調べてみる。この運転基準では塔の中段温度 (TRC-2) は塔頂温度TRC-3の補助ループであるとする。運転目標としてTRC-3の設定点から  $\pm 1^\circ\text{C}$  にコントロールすることが至上命令であるとしよう。(図の点線UCLとLCL以内にいれる)

a'はこれに成功している。こんどはTRC-3の比例帯を4倍にして、3でステップをいれるとLCLに達する偏差を生じる。この場合、TRC-3のPI値(Dはない)は、ふつう現場で設定されているいわゆる“にぶい”設定である。5, 6ではTRC-2, 3ともに“にぶい”設定の場合である。これからTRC-2の温度をちょっと押さえて、TRC-3のPI値を弱くした場合(c,d)が最も悪いことがわかる。

Fig. 3はフィード流量が50%減少した時の塔の中段、上段の温度の応答を示したものである。運転が突然半減運転となった時のPID値のもつ役割りを研究するためのものである。7で突然フィード流量が半減したためにTRC-2, 3共に制御動作を起こしている。この場合TRC-2は比例帯15%積分時間4分/回微分時間1.2分/回であり、TRC-3は比例帯20%積分時間2分/回である。ともにFig. 2のa a'に相当する設定であり、いわゆる“はやい”設定である。gの変化は少ないがg'でLCLを越して制御に失敗している。つまり1/4減衰設定でも制御不可能にみえる。8ではTRC-2のみを“にぶい”設定にして周期をのばしたものの応答である。(P60%, I 8分/回, D 2分/回)こうするとTRC-3のループの周期は短く、TRC-2のループの周期は長くなって制御に成功している。このあたりのPID値の設定は微妙である。13のステップではTRC-2をとりやめてスチームを一定量入れている。TRC-3のループだけでコントロールしようとした場合が行なっている。n1がそのときの応答結果であり、TRC-2のループの働きの、ステップ8と比較するとよくわかる。9のステップではTRC-2, 3

共に“にぶい”設定にしてあり、これでも、制御結果は良くないことがわかる。

10のステップでは2つのループをマニュアル運転した応答結果である。ふつうの人が、始めてコントロールしてみると k' のように失敗している。しかし11のステップは2回目の試行であり、人間はすぐになれて来てうまく制御ができることを示している。12のステップでは、常にこの系を運転している熟練者の行なった運転結果であり、あらゆる AUTO 運転結果よりすぐれている。なお制御結果は上下限を越す越さないの判定とともに、偏差をオンラインの小型アナログ計算機で積分していった、結果を検討できるようにしてある。正常時の最適運転のためには考えられる外乱に対して最も良いパラメータを選ぶことが大切であり、最良のパラメータは時々刻々と動くものもある。どうしても良いものもありその辺を訓練プラントで体得することが必要であると思う。

3. 2 故障をいかに切りぬけるか。

現在イソプロパノール-水の蒸溜運転において、約30

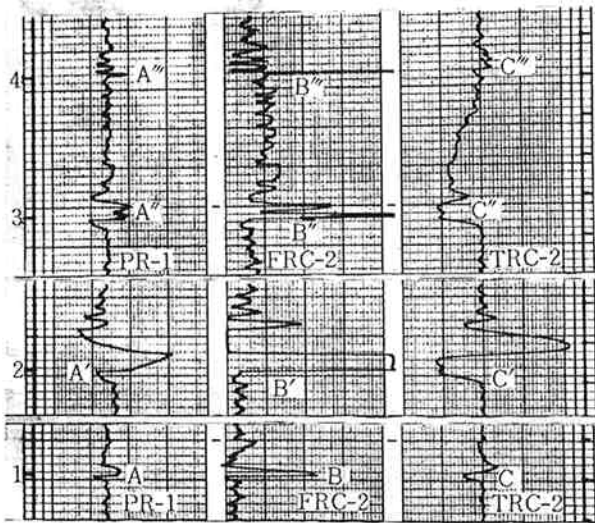


Fig. 4 An example of mechanical failure

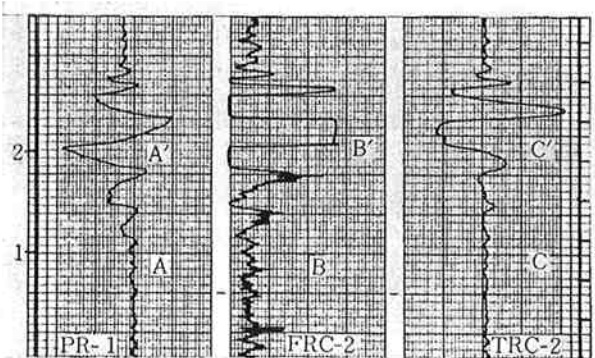


Fig. 5 Ventline plugging

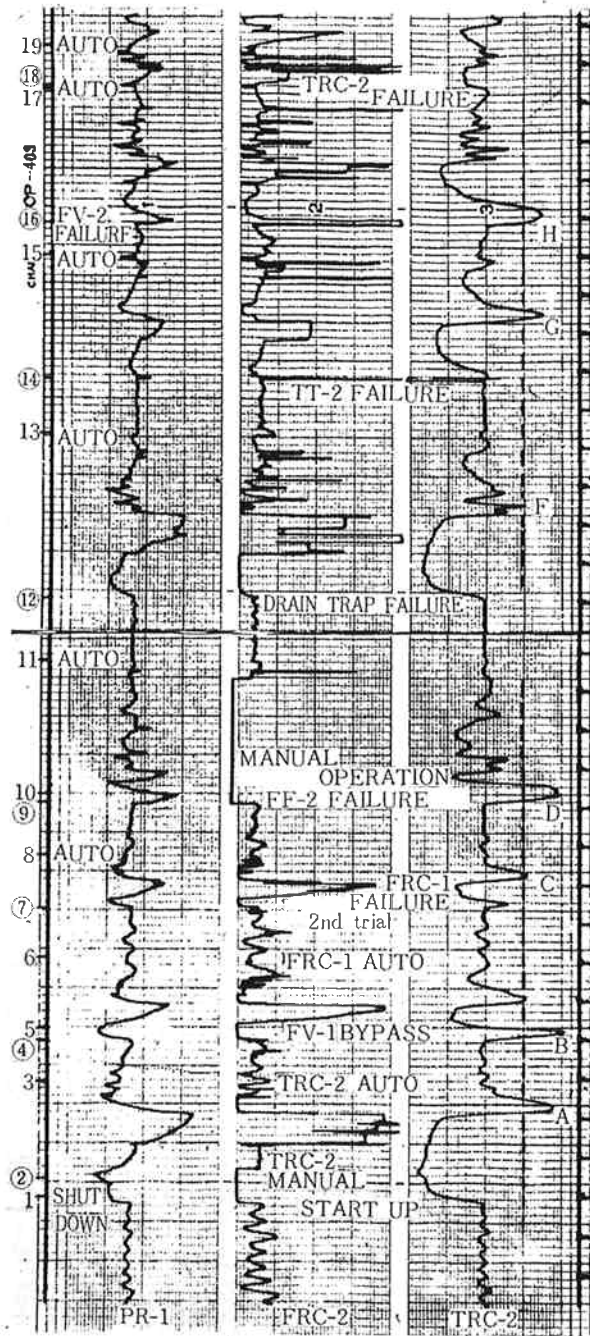


Fig. 6 "A" group practice record

の故障に対して、運転技術の差を強調する訓練コースが用意されている。故障が起って考える、あるいは、故障処置は運転マニュアルの中で頭脳プレーで行なうというのは良くない。ここでは消防訓練のような考え方で、起るか分からない一つの故障を体験するようになっている。故障には、ユーティリティーの故障、計装機器単体の故障および機械の故障があるがここではその例を上げる。

Fig. 4 は塔底への蒸気ドレントラップが詰まったと

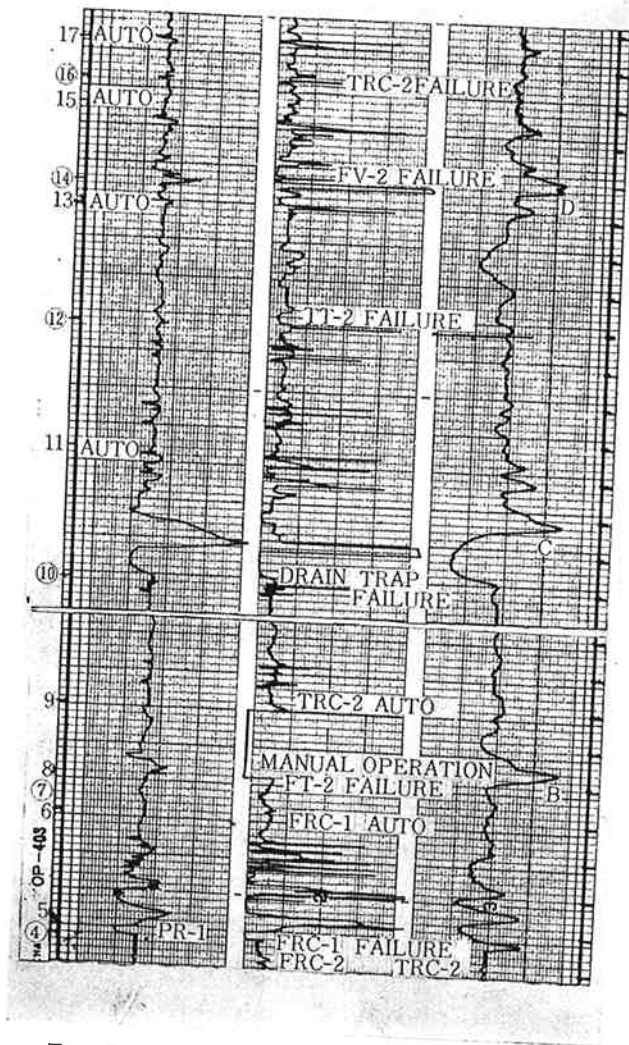


Fig. 7 "B" group practice record

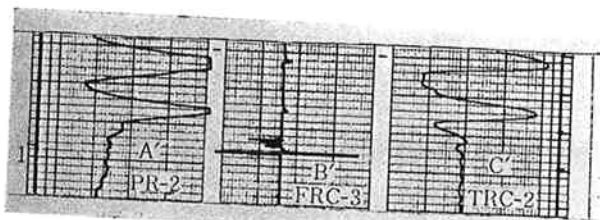


Fig. 8 Zero shift of FT-3

想定したものである。図のCにおいて、突然、塔の制御段の温度が下がり始める。Cでは  $1.5^{\circ}\text{C}$  下がったところで気がついて、ドレントラップのバイパス弁を開いて、故障を切りぬけている。C'では  $4^{\circ}\text{C}$  下がったところで、バイパス弁を開けている。TRC-2はAUTOのままでは点線のUCL（上部管理限界）を越して、失敗に帰している。C''は同じく  $4^{\circ}\text{C}$  下がったところでバイパス弁を開けているが、C''からTRC-2をマニュアルで運転してUCLを越さないようにして、C'''でT

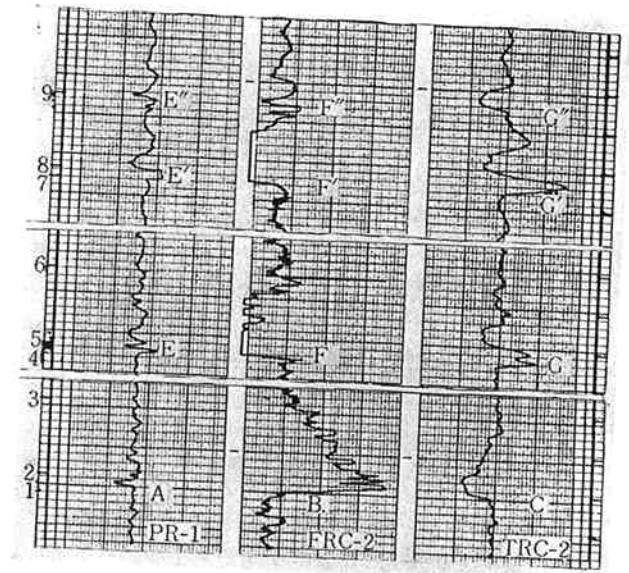


Fig. 9 An example of FT-2 failure

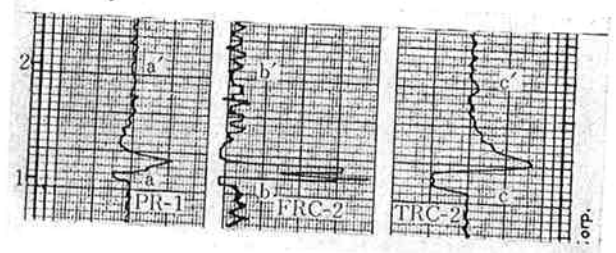


Fig. 10 An example of TRC-2 failure

RC-2をAUTOにして成功している。

Fig. 6, Fig. 7 は数人の実習者のグループが行なった実習の結果の例である。Fig. 6の⑩, Fig. 7の⑩で、さきほどのドレントラップのつまりを経験している。しかしD, Cのように処置に失敗して、TRC-2の温度がUCLを越している。

Fig. 5 はオーバーヘッドタンクの液面が計装故障あるいはミス操作によって上昇してベントラインをふさいだ例である。1でベントラインをふさがれて制御がだんだんおかしくなっている。2で液面が下がってベントラインが開きこれが大きな外乱となってC'で温度がUCLを越してしまっている。

Fig. 8 は還流流量発信器FT-3の0点が突然大巾に上がった事故例である。FRC-3は、FT-3からの見かけ上の流量にもっていくから、B'で大きな変動の後還流はあたかもかわっていないように見える。しかし実際には非常に大きく還流量が増加しておりそれが外乱となって、TRC-2のループをみだして、UCLを越してしまっている例である。

Fig. 9 はスチルにいく蒸気の流量発信器FT-2の

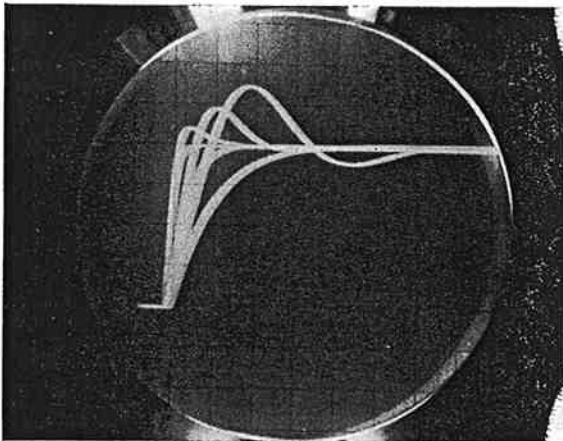


Photo. 1 LIC-1 Simulation

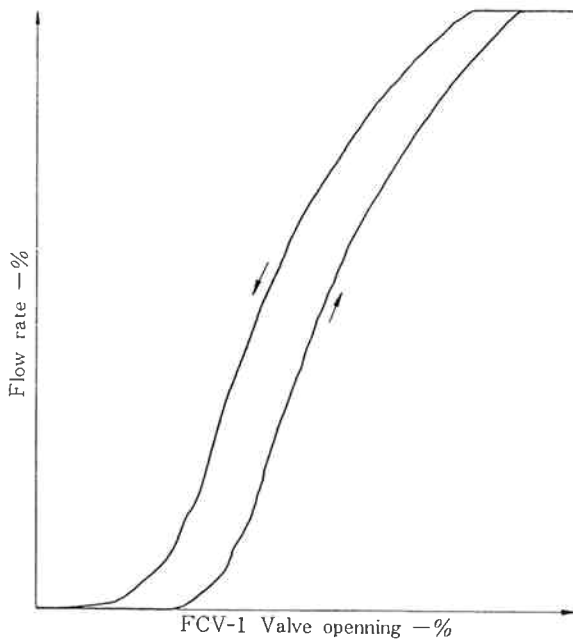


Fig. 11 Flow characteristics measurement

故障例である。1でFT-2の低圧側導圧管のドレン弁が洩れはじめている。見かけの流量指圧が上がるので、FV-2がしまり塔の温度が下がっていく。2でこの故障に気がついてTRC-2をマニュアルに切りかえて運転を続けて、3でAUTOに入れて、故障を見事切り抜けた例である。一方、4で高圧側ドレンバルブが洩り始めたとする。見かけの流量指示が下がるのでFV-2が開き、塔の温度が上がる。この例では1分11秒後にこれに気がついて、TRC-2のループをマニュアルコントロールしている。そしてFT-2の修理が済むまでマニュアルコントロールしていき、6で正常になったFT-2を使ってAUTOに入れて無事故故障を切り抜けている。一方、7で同様に高圧側ドレンバルブが洩り始めるとする。この例では故障発見までに2分30秒かかっている。

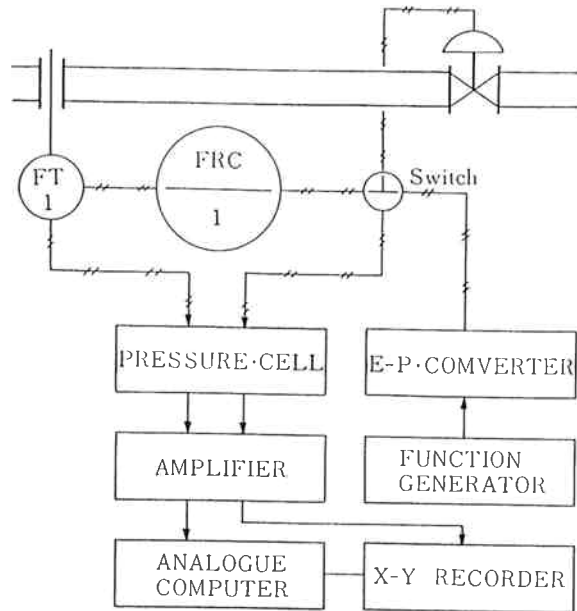


Fig. 12 Block diagram for flow characteristic measurement

るために、TRC-2の温度がUCLを越して、処置に失敗しているものである。

Fig. 10はTRC-2の故障処置例である。これは失敗例である。1でTRC-2が故障して出力を出さなくなり、2分後に発見してマニュアル運転を開始している。そしてTRC-2を予備品と交換して2で正常運転に戻している。Fig. 6 Fig. 7ではそれぞれ⑬⑭でA、BグループがTRC-2の故障を処置しているが、いずれも成功した例である。

Fig. 6では数人の実習グループが1日実習した記録である。④、⑦、⑨、⑫、⑭、⑯と7つの故障に初めて出会って6つ失敗している。このグループはこの7つの故障処置実習を行なう前に3日間、訓練プラントにおいて実習しており、突然の故障処置はいかにむずかしいかが良くわかる。Fig. 7はやはり数人のグループが1日実習した記録である。条件はFig. 6のグループと同様である。④、⑦、⑩、⑫、⑭、⑯と6つの故障に出会って3つうまく処置している。シミュレーターと違い訓練プラントは気象条件等に左右されるからAグループとBグループと比較して、訓練効果を測定することはできない。

### 3. 3 現場での計測、実験手段の実習

Photo. 1はLIC-1のループを小型アナログ計算機をつかって実験を行なった例である。横の1目が現実には1時間である、ブラウン管上では10m secである。P

Iパラメーターを写真では6通り変えて瞬間のうちに応答を調べている。実際にプラントでこの応答を調べようとすれば80時間かかることになる。訓練プラントでは小型アナログ計算機をオンラインでつかって、プラントからの信号にいろいろと演算を加えて、プラント特性をみやすくしたりしている。

Fig. 11はフィード流量調節弁の流量特性を測定した結果である。Fig. 12にその方法が記してあるがここでもアナログ計算機による開平演算が役立っている。その他現場での各種変量をモニターする方法を種々研究設定してあり、現場での質の高いオペレーションを行なうための道具立てを実習するようになっている。

#### 4. おわりに

一つの工場を人間—機械系とみなして、その効率を高めるための人間の役割は重要であり、練習その他によって常に質を高めていかねばならない。訓練プラントで行なうような故障処置、安全処置は、そのままの形では現場ではできないが、シミュレーションモデル等で定期的に練習できるようにしたい。事故が起こって考えたのは遅いことは Fig. 6, Fig. 7でもあきらかである。消防訓練が常に行なわれるように、危険な化学工場の運転

員は頭の中だけの故障処置練習では足りないと思う。

今後はそのための手法の確立が必要である。

実際のプロセスはますます複雑となり高温、高圧、腐蝕雰囲気などの故障につながる要因および故障時の処置如何では非常な危険につながる場合が増加する傾向にある。反面、生産性向上の見地から、また人手不足からできるだけ人員を切りつめていかねばならないので、運転員の故障に対処出来る能力の開発は今後ますます要求されるわけである。異常がどの種の異常か、例えば計器か、プロセスそのものか、どの部位かなどがはじめて体験した場合ほとんど処置が遅れて悪い結果を生じているが、1度体験したのちは、つぎにいき当たった場合適確に処置していることからこの種訓練パターンによる実習の効果がわかる。

#### 文 献

- 1) Donald P. Eckman, 萩原進訳；“プロセスの自動制御”，近代科学社（1965）。
- 2) 化学工学協会編；“プロセス制御”，いずみ書房，（1962）。
- 3) 三浦武雄；“アナログ電子計算機のソフトウェア”，コロナ社（1967）。