

化学工場の運転技術の知識情報化への思い

橋本 芳夫* (株)トクヤマ 徳山製造所

Thought to the knowledge information of the driving technology of the chemical factory
Yoshio Hashimoto* Tokuyama corporation

Abstract - This report introduces Technology with the plant operation know-how as knowledge information.

Key Words: knowledge information

1. はじめに

経験を重ねて知恵を生み出せる人のように、コンピュータ機能を活用して知識情報にできないかを継続的に取組んで来た。ノウハウという言葉で片付けられてしまう熟練者の知恵、熟練者自身もうまく説明できないのが現実である。いろいろな情報化ツールを連携して手軽に知識情報にできるしくみづくりを追い続けてきた。さらに知識情報化のしくみが自動化できれば、経験を重ねて知恵を生み出せる知識ロボットにつなげられるのではないか。そのような知識情報化への思いを紹介する。

企業においては理論先行的ないろいろな取組において現実とのギャップに悩まされる。結局、実績値との同定方法のノウハウが鍵となる。そのためには現場へ足を運んだ回数、現場状況の理屈を考えた回数、熟練者にヒヤリングした回数などがノウハウ取得の近道と考えている。

“能動的に経験を積むことは理論に勝る、更なるレベルアップに理論抜きではできない”という長い間企業で会得した技術者のメッセージが伝われば幸いである。

2. 運転技術の深さ

‘90年代当初には、運転支援の事例がほとんどなく運転支援のニーズの掘り起しのためボードマンに密着して運転操作の実態を分析した。数ヶ月も運転操作の様子を見ていると変調しやすい工程や装置および対応方法や調整方法がある程度読めるようになる。時には想定と全く逆操作をすることもあり、タイムリに操作根拠を質問するようにした。ヒヤリング内容をそのまま理解はできないが、断言できることは、想定していたよりもはるかに広域な状況を監視し、予兆を察知しながら対応している。それと必ずと言ってよいほど使い込んだメモ帳を開きながら要点を教えてくれるのである。

経験が刻み込まれた運転技術の深さに驚き、その思考内容を具体的にし（最近では暗黙知を形式知とする取組として報告されている）熟練者に代わっ

て適正な運転ができるようにしたい。計測と制御分野から少し外れた取組を始めた。

3. 化学工場の対象装置について

化学工場には爆発性の高い原料や活性度の強い触媒など多くの危険物や毒物がある。これらをラジカル反応などさせて化学製品を製造している。反応熱で反応が加速するラジカル反応では冷却系が不調になると暴走反応するなど危険があり、非常に気を使った運転を強いられている。また反応生成物には未反応物や副産物などが含まれているため、物質の沸点の違いを利用して蒸留分離し品質規格に適合する純度の製品を取り出している。屋外に建てられている蒸留塔は天候や気候の影響により蒸留分離が乱れやすいので安定運転のための運転技術が必要となる。

蒸留塔（Fig. 1 参照）のしくみに少し触れる。蒸留塔には円筒状の塔内に数十段のトレイがある。また蒸発用熱エネルギーを蒸気と熱交換するリボイラ、また塔頂からの気体を冷却水で凝縮させるコンデンサなどで構成されている。

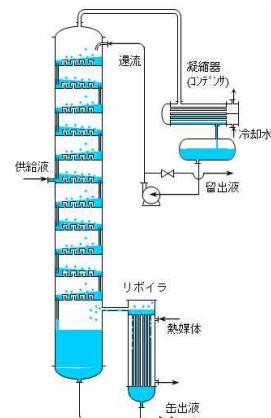


Fig.1 蒸留塔のしくみ

各段のトレイには液が溜まっていて下から上がってきた蒸気がこの液に触れると、蒸気は凝縮してその分だけトレイ上の液が蒸発する。この時各段トレイでは、組成にあった気液平衡状態となり揮発性の高い成分は蒸発して上段に移動する、揮発性の低い成分はトレイ嵩を超えて下段に移動する、という現

* (株)トクヤマ 徳山製造所 Tokuyama Corporation

(Received April 14, 2009)

象がおきている。

気液平衡特性例 (Fig. 2 参照 1)) のように 1 段では 50% 80%, 2 段では 80% 90% と上段になるほど成分は 100% に近づく。また液を確保し、不純物を回収する目的で塔頂から気体を凝縮して還流させている。品質 (純度) に適合させるトレイ段数、還流比を設計する。必要以上に純度を上げるとは蒸留塔やリボイラ・コンデンサ設備を大きくし、蒸気や冷却水などロス発生につながるため適正設計が重要となる。また、省エネを目標にヒートバランスを最低レベルに近づけると熱交換器の性能推移や天候や気候の影響から不安定になり易くなる。

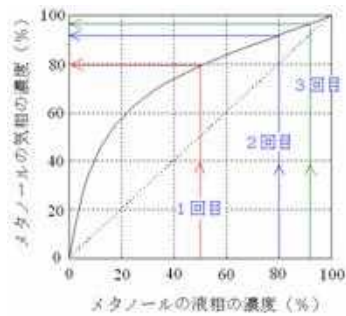


Fig. 2 気液平衡特性 (例: メタノール)

4. 運転技術の一こま

共沸蒸留塔の運転技術の一こまを紹介する。共沸蒸留塔は共沸 (沸騰する際に液相と気相が同じ組成になり沸点が変わらないので蒸留による混合物分離が難しいため、第三成分を加えて蒸留分離するしくみ) により変動しやすく運転技術が必要である。対象とした蒸留塔は能力上限で運転していたのでフラディング現象が起りやすく非常に気を使っていた。

そこで、熟練者へ運転要点をヒヤリングした。

- 1) 制御段温度の管理: 組成変化による制御段温度や管理幅が変化する 都度適正管理値を見出す必要がある
- 2) マスバランスの管理: 稼動 (供給量) にあわせて蒸気量, 冷却水量, 還流量のバランスが変わる 標準管理値を都度見直す必要がある
- 3) 設備能力の推移管理: 熱交換器の汚れによる伝熱ロスや冷却低下がおこる 連続運転期間と熱交換率の低下との関連からヒートバランスの標準管理値を見直す。
- 4) 反応 (触媒) 特性の管理: 触媒特性の変化で反応生成物の組成 (未反応物の増加など) が変わる 反応状態を温度や製品量などから管理して触媒交換時期などを検討する。
- 5) 外乱の予測: 急激な降雨, 強風による放熱で

ヒートバランスが崩れる 制御段温度の変調などを注視して蒸気量の増量調整をするなど、予兆監視の要点が見えてきた。

これほどまで想定しているのかと興味深かった例としては、原料供給メーカの定修とフラディング発生の相関関係がある例である。定修時には他工場からの純度の高い原料が供給されるので、製品量が微増す。ヒートバランス上限で運転中の蒸留塔にはこの程度でも能力限界となり、フラディング現象を起こし易くなるということである。熟練者は定修になると予めこの状態を想定しながら稼働を押さえ気味にしている。原料原単位は良くなるが運転気懸かりがふえるという、なんともうれいし悲鳴ではあります。

運転技術の着眼点を示す。(Fig. 3 参照)

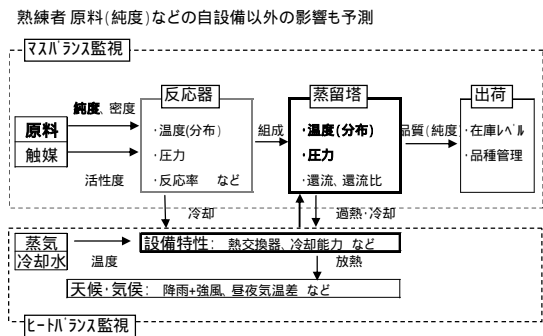


Fig. 3 運転技術の着眼点

経験が浅いボードマンは対象蒸留塔廻りしか注視していない。反応工程での変動予兆があっても、蒸留塔温度などへの影響がはじめて対応する。その結果、対応が遅れ大幅に変動させてしまうことがある。

熟練者は反応工程なども広域を視野に入れている。この時、反応率の微増分に対する蒸気増量操作とフラディング兆候を回避する蒸気減量操作の相反する対応方法への判断が必要となる。適正操作が即座にできるのである。

熟練者はこのような運転技術を使い込んだメモ帳を開きながら教えてくれるが、ほとんどが頭のなかにしまいこんだ暗黙知である。いろいろな情報化ツールを用いて熟練者の思考手順を再現して知識情報したいとの思いが募ってきたのである。

5. 知恵の見える化

フラディング現象をどのように察知しているかをさらに掘り下げてみる。フラディング現象の理屈を示す。設備能力上限付近で運転している蒸留塔ではトレイの液溜量が設計値以上になり蒸発熱量が不足みとなる。よって揮発性の高い成分の上段への移動が滞り、閉塞状態になる。その結果、塔圧が上昇

し塔上部の温度が低下するフラディング現象に進展する。

ヒートバランス上限ぎりぎりまで運転しているとき、反応物の組成（製品と未反応物の割合）の僅かな変化に伴うエンタルピー変化によりヒートバランスがぐずれフラディング現象に至る。エンタルピー数%の僅かな変化でも起こる、非常にデリケートなものである。組成の変化はリアルタイムには計測できないので、制御段温度の動きなどから予兆を察知する運転技術が必要となる。

熟練者は、反応（触媒）特性の推移や原料純度の推移まで（それぞれの管理方法にもノウハウが必要であるが）を見て予兆を監視しているのである。

フラディング発生時の蒸気量分布や原料密度との相関係数（Fig. 4 参照）など分析を重ねると熟練者の操作根拠が見えてくる。つまり分布状況、相関係数、各換算値およびその推移状況など組み合わせれば熟練者の運転技術が具体的にようになってくる。これから熟練者の暗黙知を形式知として示せる感触が得られた。

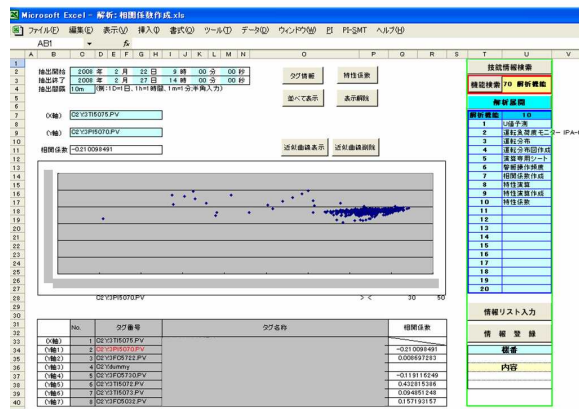


Fig. 4 相関係数の分析

但しフラディング現象を具体的にする一例だけでも相当時間がかかる。熟練者自ら手軽に“見える化”できるしくみ作りが重要となる。

6. 踏込んだ運転技術に向けて

地球温暖化対策にひとり一人が取り組む大切さを耳にするようになった。どれだけ実践できているか疑問である。ただ、冷房温度28度を守ると、CO2削減量32.5 Kg/年・台、節約金額1833円/年・台と効果を数値で示されると意識がかわってきたように思える。

化学工場では多くの熱エネルギーや電気エネルギーを消費している。CO2削減や省エネに対する運転技術となれば熟練者も少し事情が違うようである。

蒸留塔を安定運転するには、供給液の組成変化などの変動要因の影響を少しでも受けにくくしたいためリボイラ蒸気量を多めしがちで、その結果コンデンサ冷却水量も多くなる。“暖めすぎ、冷やしすぎ”の省エネに反する運転になりがちである。この状況を Fig. 5 のように“見える化”するとする。

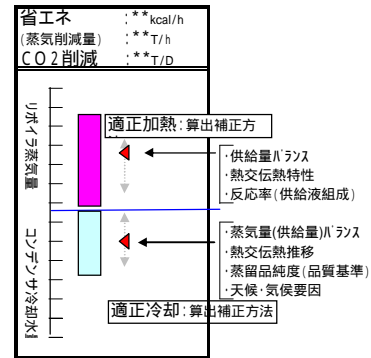


Fig. 5 省エネ運転指標(イメージ)

“暖めすぎ、冷やしすぎ”が視覚的にわかり、運転実績を基にした適正な蒸気量と冷却水量を運転指標として示し、省エネ効果(CO2削減量含む)を示すのである。これによりや省エネへのモチベーションが上がると考えている。

この省エネ指標を導き出す際に、プロセス工学(蒸留塔設計、反応率管理など)や機械工学(熱交換器特性(Fig. 6 参照)、ヒートバランスなど)

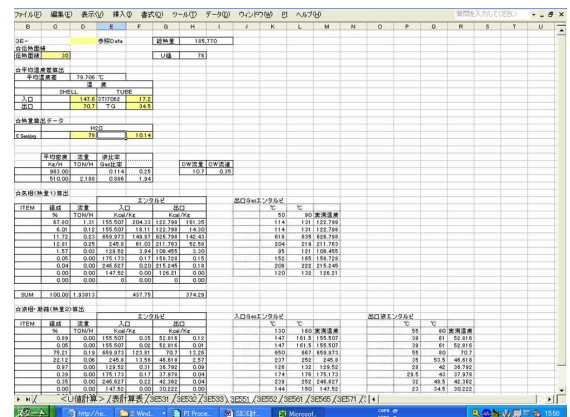


Fig. 6 熱交換器特性計算

および電気工学(電動機特性など)など関連する分野の基本を学ぶ機会に恵まれた。踏込んで新しい運転技術を究明するには理論抜きではできないことが実感できた。また、計測と制御分野の殻を破って、いろいろな分野を学習したからこそ実践的に役立つ技術力が発揮できた気がする。

7. 知識情報化への思い

熟練者自身もうまく説明できない知恵をどうにか

表現するしくみ作り，ものづくりの拘りにも通ずる思いを紹介する．

知識情報化の機能構成を Fig. 7 に示す．

- ・ 手軽に運転状況を検索・確認および比較検討できるしくみ
- ・ 勸的な因果関係を相関係数，統計分布データから確認できるしくみ
- ・ 究明をすすめた確認手順を記録再生できるしくみ

などで構成されている．

情報化ツールによる知識情報化 (イメージ)

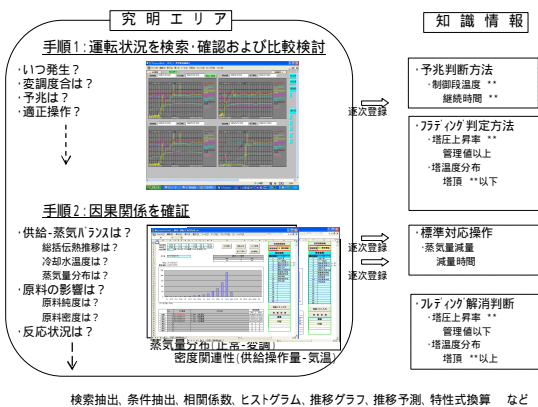


Fig. 7 情報化ツールによる知識情報化

熟練者が運転状況を検索・確認および比較分析・解析を重ね勸的な監視操作の根拠の確認を手軽に進められる．確認手順を記録しておき，熟練者の思考手順どおり自動実行すれば誰でも同じ判断（知恵）ができる．そのような知識情報化のしくみを目指している．

また，具体化された知識情報により知恵を理解できるようになり，知恵を評価できるようになる．最近注目されている運転技術の継承にも活用できると考えている．

また熟練者自身も整理された知識情報によりさらに知恵を深めることができようになる．

知識情報化の延長線上として思い続けている知識ロボットへの夢について触れる．人は経験を重ねて知恵を生み出せる．例えば，予兆を見過ごし大きく変動させた，操作の影響を見極めないまま更に操作して大きな変動をおこした，適切な操作目標量がわからず必要以上に操作して変動させた，など大小様々な失敗経験を重ね，失敗を繰り返さないように知恵を身に付ける．

記録された熟練者の思考手順により，“いま触っても大丈夫か？”，“今回の操作は前回より良かったか”，“何度か操作した結果そろそろ限界だ”と状況判断しながら適正な操作方法を見極め，これら試

行結果を整理して人に教えてくれる (Fig. 8) ．

経験の浅いボードマンが基本的知識を会得していくような知識ロボットを実現できるように機能を拡充していく．



Fig. 8 試行結果通知

8. まとめ

計測と制御分野を論じるのにつきものの数式（理論）がなく，経験重視という精神論的な内容になってしまった感がある．ただ情熱的に能動的に繰り返し経験を重ねて，少しでも良いものを作りたいとの思いの大切さを伝えることを目的とした．これは最近クローズアップされてきた“ものづくり”の大切さにつながるものと考えている．

ものづくりへ拘ることで，専門分野の知識の枠を超えて，全てに好奇心を持ちながらさらに技術力を磨き，自分自身で成し遂げたいというモチベーションが高まる．

このような長い間企業で会得した技術者のメッセージが，漠然としていた夢をすくいに現実化したいという思いが伝われば幸いである．

参考文献

- 1) 大江 修造 蒸留とは
http://www.rs.kagu.tus.ac.jp/ohelabo/joryu/joryu_toha.htm
で閲覧できる
- 2) 全国地球温暖化防止活動推進センター 温暖化ライブラリ
<http://www.jccca.org/content/view/1053/678/>で閲覧できる