

# 特集

## 2000年のバッチプラントとユニット機器開発

# 「超」多品種変量生産 に向けて

島 一己\*

多品種変量生産ということが言われて久しいが、今後はいままでの枠を超えて進んでいくのではないだろうか。すなわち「多品種変量」であったものがこれからは「変品類変品種変量」になっていくであろう。そして、SCM 的な発想に基づいて、消費者（デマンド）と製造者（サプライ）間のチェーンの同期化を図ろうとすると、その先にはインターネットを使ったマス・カスタマイゼーションの社会がみえてくる。

そして、このような動きに即してバッチ分野における生産の仕組みも見なおしていく必要に迫られる。また、合理的に意思決定していく道筋も必要となろう。これらの活動の基底にあるものは、会社、工場などの社会システムにおける全体の最適化であり、広くには integrity management のためであるといつてよい。

本論では、以上のような全般的な点について考察するとともに、直近の現実的な話題として、食品プラントへの切り替えシステムの適用例について紹介する。

### 1. 多品種変量を超えてマス・カスタマイゼーションへ

#### 1-1. 多品種変量から変品類変品種変量へ

冒頭にも述べたが、今までの多品種変量の枠を超えた動きが今後でてくるのではないだろうか。今までは、多品種変量生産といっても特定の製品カテゴリーの範疇での話であった。一つの工場は、一つのカテゴリーの範囲内で多品種への対応を迫られていた。しかし、今後の工場は一つの製品カテゴリーだけを製造するというのではなく、別の製品カテゴリーも合わせて製造するようになっていくのではないだろうか。

例えば、缶飲料にはソフト飲料とアルコール飲料の2つの製品カテゴリーがある。ソフト飲料では、ジュース、炭酸飲料、コーヒー、ウーロン茶、緑茶など多くの品種がある。さらに、コーヒー飲料についていえば、ミルクの有無、コーヒー豆による区別、ブレンドの仕方による区別、焙煎の程度などさまざまである。これらのソフト飲料を製造しているところでは、まさに多品種変量生産であるが、ソフト飲料というカテゴ

\* Kazumi SHIMA；東洋エンジニアリング(株) AIS 研究所

リーの枠内にあることには変わりなく、その意味では専用工場である。アルコール飲料もまた、ビール、ウィスキー、ワインなどで多くの品種がある。ビールはビール工場、ワインはワイン工場で製造されているが、一つの製品カテゴリーの枠内にあることには変わらない。これらのソフト飲料もアルコール飲料も、極論すれば製造においてはタンクと充填設備は同じようなものである。荒っぽいいい方かもしれないが、違いは中間の工程のさまざまところ（処理設備、管理方式など）が製品カテゴリー別に異なっているだけである。そのため、将来的には、たとえばお酒の工場とソフト飲料の工場とを合体融合して、あるときにはお酒を、あるときにはウーロン茶を作るようになる。あるタンクにはお酒が入っていることもあり、また別の時にはジュースが貯蔵されていることがある、という具合である。もちろん、管理方式もその都度に変えるようにする。こうなると、「多品種」というより「多品類多品種変量生産」ということになる。マルチパーパスを突き進めていくと、このような形態になってくるのではないだろうか。このような「スーパー多品種変量」生産に対応する方式の模索が今後必要になってくると思っている。

一つのやり方は、One-Floor-Manufacturing である。この言葉は筆者が勝手に名前をつけたものであるが、要するに幕張メッセやビッグサイトのような展示会場のように工場を運転しようということである。建物の屋根はあるとして、2階、3階は作らない。すべては一つのフロア上にしかない。そのフロア内で、必要な生産設備を入れ替えて変化に対応するわけである。

### 1-2. 多品種となった背景はタイムラグにあるのでは？

現在のような多品種変量生産となった背景を考えてみると、要因の一つには、生産側と消費者側を結ぶ情報回路のタイムラグということがあるのではないかと。要するに、デマンド（消費者）とサプライ（製造者）チェーンの同期化がとられていないので、現象的に多品種になったのではないかと。これは、以下のようなことである。

生産者側は、現状のマーケットの売れ具合を見て、また種々のマーケット情報を得て、次に受け入れられる製品はこれだという見極め（見定め）をして、組織内の開発活動を行い、製品を市場に出す。それまでには、それなりの時間がかかることになる。

一方、消費者は基本的には製造者が提供するものの中から選択するだけの立場である。いわば受身、待ちの姿勢になる。現状の陳列棚にある製品の中から選ぶ

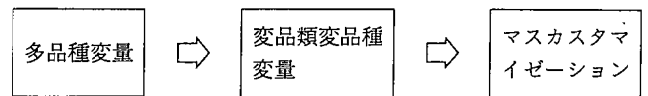


図1 次のキーワード

しかないのである。自分の好み、自分だけの味、「個味」を実現してくれる製造者はいないので、いきおい、陳列棚から自分に気に入るものを選んで、トライしてみることになる。そこそこに自分の好みに合えば、継続して買い求めるであろうが、決して「自分にとって最高、最善の選択」とはいえない状態が続くことになる。いわば、欲求不満の状態である。これが、消費者をよりいっそう移り気にする。

次から次へと新製品を出すことで、一見すると、消費者に対応できているかのように見える。しかし、そこには消費者の「個々」の意見は反映されていない状況がある。つまり、消費者の好みは、販売代理店、問屋などを經由して初めて製造メーカーに伝わる。その途上で「個味」は埋没して、最大公約数的な味についての情報のみが届く。しかも、それから生産者側の行動が開始されるので遅くなる。ここに、デマンドとサプライの情報回路のタイムラグが生ずることになる。つまり、消費者の好みの変化はリアルタイムに、しかもダイレクトに生産側に伝わる仕組みになっていないということである。このため、生産側はある程度のリスクを負いながら、予想される嗜好のものを市場に出すのである。しかし、これでは当たりはずれが大きい。当たれば大きな生産量につながり利益になるが、嗜好の変化を上手く捉えられないと売れ残ることになる。この間にも嗜好は変化しているから、またすぐ次の商品開発ということになる。この連鎖の積み重ねが多品種変量をもたらしたとってよいのではないかと。

問題点は時間差と直接性である。生産側が消費者情報の把握に手間取り、生産が遅れる。この時間差が残る限り、多品種変量生産は永遠に続く。また、中間流通機構があり、これがメーカー側と消費者側との間に介在している限りにおいては、「個味」の実現は難しいことになる。この中間流通機構を省き、消費者が自分の好みを生産者側にダイレクトに、リアルタイムに伝え、それを製造委託できるような仕組みがあれば、消費者は「個味」を実現できる。このような仕組みは、今までには実現されていない。コーヒーなどの自動販売機が近いがそれでも限界がある。

### 1-3. マス・カスタマイゼーションとインターネット販売

この時間差を短くして、リアルタイムに消費者の嗜

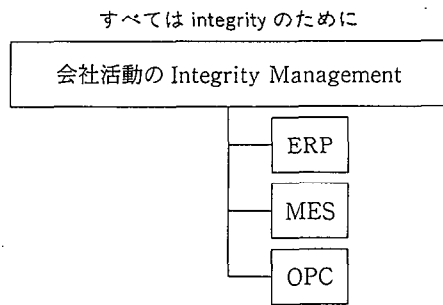
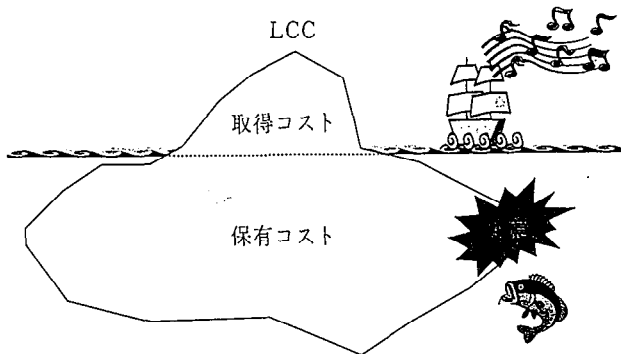


図2 要素技術



保有コスト > 取得コスト

図3 LCCの背景

好が生産に反映できたとき、マス・カスタマイゼーションが実現したといえるのではないだろうか。製造者と消費者というデマンドサプライチェーンの同期化を図ろうとすると、情報の伝達の速さが必要であり、このための道具立てとしてインターネットが利用できる。

このマス・カスタマイゼーションということが次のキーワードになるのではないだろうか (図1)。この言葉はジョー・パインが提唱したもので、「顧客毎にカスタマイズした製品やサービスを、低コストでかつ高い品質で顧客に届けること」である。

パインはその著書の中で、マス (大量) とカスタマイゼーションの双方を達成する4つの基本的なイノベーションが存在することを指摘している (同著, p. 67)。

- ① 現材料および部品の JIT による納品と加工で、プロセスの欠陥を取り除き、コストのかかる在庫を削減する。
- ② 段取り替え時間を削減して、ロットサイズおよび製品の多様化コストを直接的に減少させる。
- ③ 価値連鎖のすべてのプロセスにわたってサイクルタイムを圧縮して、コストを削減させるのと同時に、フレキシビリティと即応性を高めるために無駄を取り除く。
- ④ 予測のかわりに、受注してから生産して、在庫

コストを減らし、投売りと資産償却を止め、そして顧客ごとのカスタム化にとって必要な情報を提供する。

①を現在の言葉で置きなおせば、サプライチェーンの同期化ということである。

②, ③についていえば、製造側での主たる工程と工程の間に存在していて、すきまとなっている作業 (段取り替え, 切り替え) をうまく行うことであり、そのための切り替えシステムの活用である。具体的にいえば、著者らが本誌で提唱した「時間と設備の総合管理」(タイムアンドファシリティマネジメント) であり<sup>2)</sup>、より現実的な道具立てとしてはスケジューラと切り替え装置を組み合わせた「インテリジェントな移送システム」のことである。

③, ④についていえば、先にも述べたように、消費者と生産者との情報の伝達の直接性と同時化を図ることである。

## 2. 合理的なバッチプラントの意思決定手法

### 2-1. Integrity Management

今までは、今後の流れの一端を個人的な予測を交えて述べた。バッチプラントにおける現実の設備設計の場面でも、少しずつではあるが、従来とは違う動きが出てきている。従来の経験と勘によるものから合理的な考えに基づくものが採用されてきているのがそれである。合理的な意思決定手法といってもよい。

このような背景には、企業全体のありようの最適性、品質統合性が求められているからではないだろうか。この統合性という中には、当然、製品の品質安全もあるであろうし、企業の品格、倫理性もあるであろうし、管理手法としての合理的な判断というものも求められるであろう。企業は、実態としてその「ありよう」の全体が評価されなければ意味がない。そこでは、総体としての最適性が求められている。これらの総体を最適にするための管理手法が従来より求められてきているわけであり、一言でいえば Integrity Management の実現ということであろう。Integrity という言葉には品質や統合性という意味合いも含まれている。いわんとするところは、企業総体ということである。決して、部分的なマネジメントの総和としての最適化ではない。最近の ERP, MES, OPC の3つの階層モデルはこのための要素技術であるといってもよいのではないだろうか (図2)。

### 2-2. 合理的な意思決定のために

さて、バッチ分野での合理的な意思決定のためのツールとして、

### ① LCC 解析

### ② シミュレーション

### ③ スケジューラ

がある。簡単に紹介したい。

#### 2-2-1. LCC 解析

LCC (Life Cycle Costing) 解析とは、IEC 60300-3-3 にて最近定義されたものであるが、要すれば、「製品のライフサイクルすべて、もしくはその1部の期間に生じるコストの経済性評価」である。

ライフサイクルは製品の企画から廃棄までの期間をいい、大きくは次の5つから成る。(1) 企画・定義 (2) 開発・設計 (3) 製造 (4) 納入据え付け (5) 運転保守 (6) 破棄。この一連の期間の始まりから最後に至るまでのコストをトータルに見ようというものである。

このような解析が最近多く使われ出した背景には、取得時の設備システムコストに比して、その後の運転保守コストが結構大きくなり、全体として長期間にわたって見ると、運転コストのほうがインパクトが大きいがよくあるという経験に基づいている (図3)。

これも、企業の「ありよう」についての一つの管理といえる。設備の初期投資だけではなく、据え付け後の運転、メンテナンスなどの費用をすべて勘案して、合理的な投資判断を行い、全体としての最適性を追求しようとするものである。

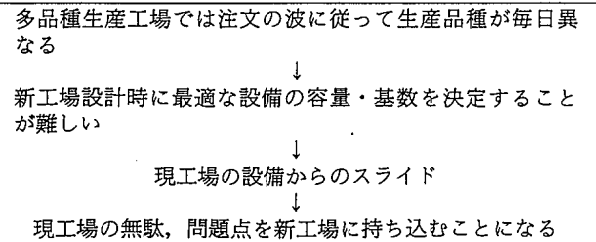
このような LCC 解析の数例を見聞きすると、初期のコストだけでは決めがたい状況が多くあるということがよくわかる。今までは初期の設備投資の多寡で、例えば自動機械の採用が可否されていたのであるが、LCC 解析というツールを使うことで、定量化しづらく、見えにくい部分も定量化できるようになり、さらに導入後のメンテナンスコストなどへも考察が行くようになるからである。

確かに LCC 解析には予測値を使わざるを得ないという側面があり、心情的に受け入れにくい面があるが、見えないものを見えるようにし、また、今までは見ようとしなかった部分にも目を届かせていくことにより、合理的判断をするための使える道具になっていく。これらの件数が多くなればなるほど、データがしっかりとってきて、より現実的な判断が可能となると思われる。

#### 2-2-2. シミュレーション

多品種生産を行う工場では、毎日生産品種が異なる。このため、新工場設計の際には最適な設備容量・基数を決定することが難しい。このためによく用いられているのは、現工場の値からのスライドである。そうな

#### 従来手法の問題点



#### シミュレーションによる設計支援

設計支援として目々の注文ベースの生産シミュレーションが有効

- 特長・任意の注文パターンに対してシミュレーション可能
- ・数多くのトライ・アンド・エラーが可能
  - ・ガントチャート表示により判断が容易
  - ・生産スケジューラへの拡張が容易
  - ・将来の増設時にも活用可能

図4 多品種生産工場の設計における生産シミュレーションの利用

ると必要以上に過剰な設備になったりすることがよくある。タンクの数が多すぎたり、ライン本数が多すぎたりすることになる。また、現工場で問題となっている事項や無駄な仕組みなどがそっくりそのまま新工場へ持ち込まれてしまうので、革新的なシステムとはなりづらい。

また、実際に建設されたバッチプラントでは、タンク線りが問題となった。現状のタンク数でもっと多くの銘柄が生産できるのではないかと、もっと処理能力を高くすることが可能ではないかと、タンクはこんなに要らないのではないかと、などを検討する必要が生じた。

このような場合には、シミュレータを用いて最適なタンク基数やライン本数、ラインサイズを求めるのがよい。すなわち、任意の受注パターンに対してシミュレーションを行い、そして数多くのトライアンドエラー的な計算をコンピュータ上でを行い、それらの結果をガントチャートなどに集約し、稼働状況を的確に見えるようにしていく。こうすると機器の稼働率、充填計画の推移、そして中間製品タンクの在庫保有量の推移などが見えてくる。同時に、必要なユーティリティなども積算できる (図4)。

このことにより、より合理的な判断を下すことができるだけでなく、将来の増設時などに、どのような枠組みにすれば良いのかが明確になる。

#### 2-3. スケジューラ

サプライチェーンマネジメントということが昨今提唱されている。定義はいろいろであるが、その目的とするところは、デマンドサプライチェーンの同期化により、在庫を減らし、リードタイムを短くし、全体の

現場のニーズ	XYルータ	バルブ ブロック	スイング ベンド	人手 ホース接続
複数対複数可	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
コンタミ安全性	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
製品ロスがない	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
接続確認	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
自動化	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
労働環境	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
低い投資額	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
拡張性	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

図5 XYルータと従来型ライン切り替えの比較

スループットを高めることになる。広い意味で考えると、前工程、後工程を考慮して全体の調和をとるということである。

その場合、全体最適化のための手法は「時間軸のコントロール」ということである。すなわち、同期化である。「時間軸」に着目した生産システムという点では、JITというのと同じような観点にあるといえる。

重要工程間を結ぶつなぎ作業をなるべく人手をかけずに短時間で行うことは、付加価値を直接的に生む作業の稼働比率を上げることにつながり、利益の増大に貢献する。これにより生産サイクルが高速化し、処理バッチ数が増え、最終的に製品の滞留時間を短くして中間在庫を減らすことができるからである。

このようなつなぎ作業の中に、液体や粉体の移送・切り替え作業がある。この作業をスムーズに短時間のうちに行い、付加価値を生む重要工程を迅速に回し、工場全体の設備能力を上手に引き出すような考えを弊社では、「時間」と「設備」の調和と称している<sup>2)</sup>。バッチ工場での、上流下流工程の同期化を図るための解決策としては、「スケジューラ」を活用するのが有効である。

### 3. 食品分野での切り替えシステム

#### 3-1. パイプレスの手法

バッチケミカル分野での多品種変量生産に対応する生産方式として、タンク移動方式が有名である。1986年ごろ各社から提案されて、実用に供されている。弊社のほかにも、塗料関係などで多くの実例がある。

この方式においては、タンクは各ステーションに移動し、そのステーション内に入り、ステーションに割り当てられている機能を組み込むことになる。タンク

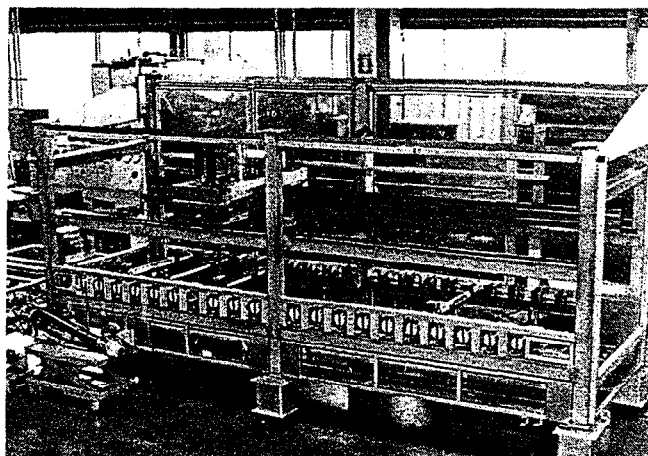


写真1 XYルータ

移動方式では、必要なときに、必要な場所で、タンクと配管をつなぎなおして、目的にかなう形に再構築しようとするものである。タンクを移動させるということが「都度の接続」を実現するための方策になっている。

上に述べたようなタンク移動方式やその他のいろいろな方式を含めた広い意味で、パイプレスという言葉が使われている。切り替えに必要なことは、具体的には「つなぐ（接続する）」ということである。必要なときにつなぐということであり、これを筆者は「connection on demand」、「JIT接続」という表現であらわしている。この言い方は、止揚した言い方でもあり、これを具体的に実現している方式がタンク移動であり、これ以外の方式の一つが弊社の配管切り替え装置XYルータになる。

タンク移動方式は最近では乳業関係でのプロジェクトで計画されていると聞く。生菌を扱う乳業のような分野でも、都度につなぐという考えが受け入れられてきている証左である。

#### 3-2. 切り替えシステムの技術進化

例えば、大規模な飲料工場であるビール工場では、今までに切り替えシステムの自動化が進められてきた。このあたりの経過については、いろいろな論文にまとめられている<sup>3)</sup>。当初は簡単なバルブの切り替えやホースによる切り替えであったのが、自動化の要請に伴い、自動切り替えバルブの導入につながってきているのである。

ここで、各種の切り替えシステムの比較をしておこう。図5は、このあたりの比較を行ったものであり、チェックマークは優位性があることを示している。バルブブロックによる切り替えシステム、人手によるホース接続システム、短管を組み替えるスイングベンド

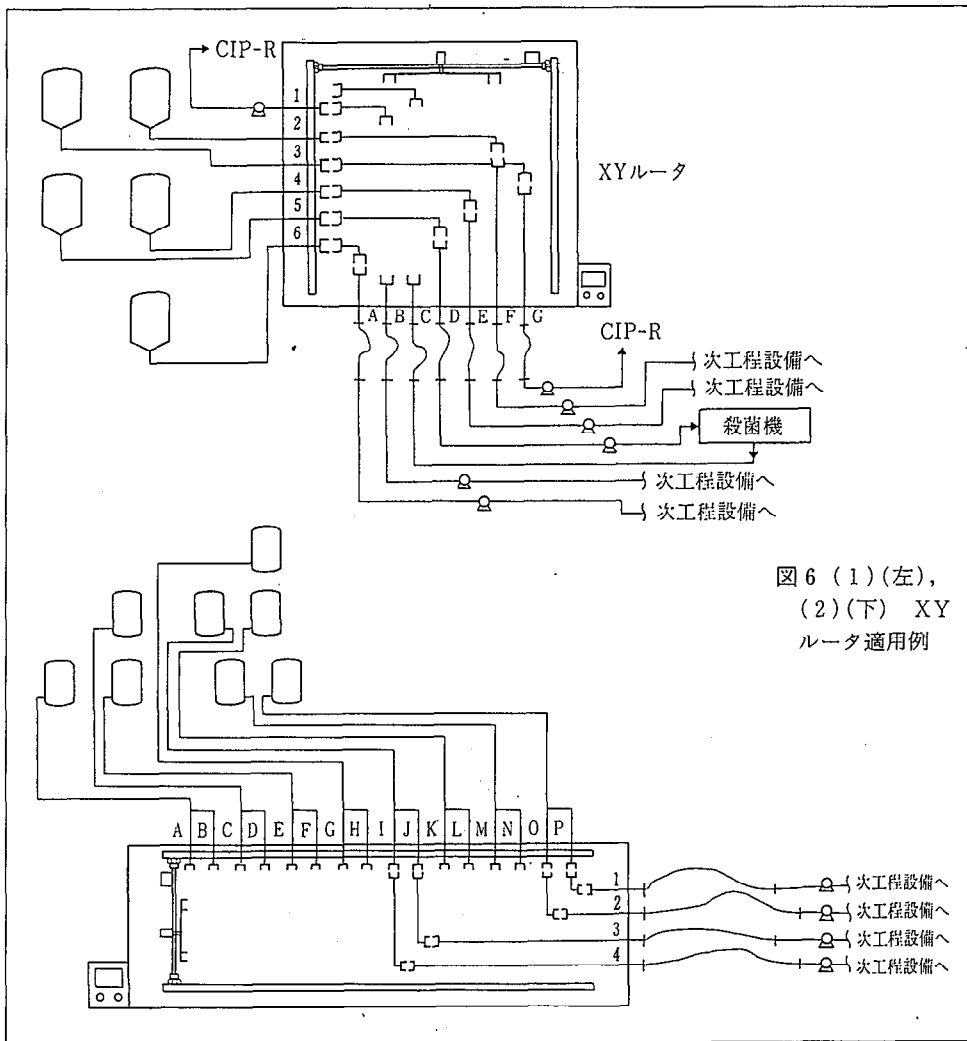


図6 (1) (左),  
(2) (下) XY  
ルータ適用例

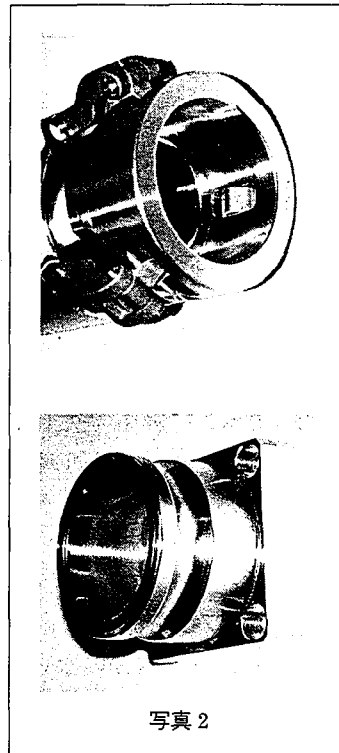


写真2

い、複数対複数の切り替え  
ができない、もしくは作業  
がしにくい、自動化が難し  
いなどの欠点を有している。  
後述する弊社の配管自動  
切り替え装置「XYルー  
タ」は、これら従来の切り

替えシステムの利点を融合し、それぞれが持っていた  
課題を解消しようとして開発されたものである。

#### 4. 食品分野向け切替え装置 XY ルータの紹介

さて、ここである飲料プラントに導入された食品用  
XY ルータについて紹介する (写真1)。

##### 4-1. システム構成

本案件での使われ方は、充填機直前の切り替えであ  
る。製品タンクと充填設備の間に設置されたものであ  
り、従来は人手によるホース接続が行われていたとこ  
ろである。導入の目的は、ホース接続によるオペレー  
タへの負担を低減する、HACCP によるホースの管理  
を容易にする、また、一筆書きループの構成により異  
種混合を防止することである。

この案件での設計的なポイントは、既存工場であり、  
タンクノズル高さが決まっていることである。また、  
充填設備への送りラインであるので、ポンプサクショ  
ンラインであるということの下がり勝手にする必要が  
あるということである。また、当然のことながら、食

パネルなどがあり、それぞれ特徴を有している。

バルブブロックは、自動バルブを組み合わせること  
により自動運転が容易であり、操作は確実である。タ  
イムリーなライン切り替えという点では有用である。  
自動であるので、労働環境的にもよしい。一方、コ  
ストが高くなる、コンタミネーションの不安がある、  
ヘッダーによる流路の枝分かれがある、ヘッダー内の  
液たまりが存在する、一筆書きの洗浄ループが構成し  
にくいなどの欠点もある。

人手によるホース接続システムは、都度につなぎこ  
むという点からコンタミに対する安全性が高く、低コ  
ストである。ヘッダーという概念がないので、製品ロ  
スがない、拡張性が高く必要に応じてすぐにラインを  
増やせるなどの利点がある。一方、人手作業による接  
続ミスや作業の遅れがある、自動化ができにくい、労  
働環境的にも問題がある。

スイングバンドパネル方式は、比較的安いコストで、  
コンタミのない安全な切り替えができる。また、ヘッ  
ダーがないために製品ロスがない。一方、拡張性がな

表1 XYルータ仕様

No	用途	設置位置	台数	ライン サイズ	ライン 本数	装置サイズ (W×L×H)	防爆 基準	ホース 材質	カプラタイプ
図6-(1)	飲料工場	貯蔵タンクから充填機への間	1台	3S	6×7	1500×5000×1900 mm	非防爆	EPDM	高洗浄性カプラ
図6-(2)	飲料工場	貯蔵タンクから充填機への間	1台	3S	20×4	2500×2500×2000 mm	非防爆	PP	高洗浄性カプラ

品を扱うこともあり、装置のサニタリ性が望まれることである。

図6は、システムの構成を示すフロー図である。

たとえば、図6(1)では、タンクの出口から本装置を通してポンプ経由で次工程の設備へ送られるのみならず、一部のラインは処理設備を通して、元のタンクに戻ることができるようになっている。また、図6(2)では一つのタンクから同時に複数の充填設備に移送できるようになっている。

#### 4-2. カプラの概要

カプラには、内弁のない構造のものを用いている(写真2)。これは、同工場では従来ホースを用いていたのであるが、そこに用いられていた接続継手が内弁のないタイプであり、そのままの様式を踏襲していることによる。

ロックは、レバーによるロックシステムとなっていて、空気シリンダーにて自動的にレバーが動き、オス・メスを固持することになる。人手カムロックの自動化である。ただし、食品用ということもあり、シールとしては面シールを用い、サニタリ性に配慮しているので、いわゆる通常のカムロックのシール方式とは異なっている。

#### 4-3. 設計仕様

設備仕様を表1にまとめている。先に述べたように、タンクの出口ラインとポンプサクシジョンの高さ制約関係の中で、下がり勝手になるようにしているので、装置高さが制約される。このため、両側にホースがあるようなタイプであるとうまく要求に合致しない。そこで、片側渡し配管としている。また、ポンプ側の出口ラインは6~7本のホースとなるが、設置スペースの関係でホースを水平に引き回すことにしている。

また、設備は屋外仕様となっている。このため、装置上部には屋根部分が設けられていて、側面は透明なプラスチックで覆われている。

待機中の外部からのほこり、ゴミ、異物が入り込むのを防止するために、使われていないラインにはふたがなされている(本数が少ない場合に、渡し配管自体がふたの役割を果たすことができる)。

#### 4-4. 導入の効果

大きな効果としては、ラインCIPが一筆書きで実

施可能なことが上げられる。これにより滞留部がなくなり、無駄な洗浄水や無駄な洗浄作業をバルブブロックに比べて少なくすることができる。また、ライン構成が簡単で、使っていないときには切り離されているので異種混合の危険性がないことになる。これは使う側からすると大きな安心材料である。

多品種変量への生産システムとして、パイプレスという切り替えの考えが提唱されてから10年近く経過し、各種の方式が実用に供されている。それらはタンク移動方式であったり、弊社のXYルータのような切り替え装置を用いた方式であったりする。一方、これからは多品種というよりも多品類に、さらには「個味」を追求するマス・カスタマイゼーションへの移行も視野に入ってきている。生産方式もそれに適応する形が提案されていく必要がある。従来からのタンク移動方式や切替え装置の長所を取り込んだ上で融合し、さらなる構想の生産の仕組みが望まれている昨今である。

いずれの方式においても、基底にあるのは「必要な時につなぐ」ということであると筆者は考えている。つなぐということを実現しようとする、接続のための継手(カプラ)が要ることになる。新しい生産方式の開発とあいまって、要素技術としてのカプラの開発を進めていく必要がある。今までに開発され、実際に使用されてきているカプラについては別な機会にまとめて紹介したい。

最後に、本文をまとめるに際して、西村明美氏の支援を得たことを記して感謝したい。

#### 参考文献

- 1) マス・カスタマイゼーション革命, 1994年, ジョー・パイン, 日本能率協会マネージメントセンター
- 2) 「タイムアンドファシリティマネジメント」島/奥田, 化学装置, 1999年10月号
- 3) 例えば,  
「技術者が主役の食品製造現場」上河, ペトロテック, 第19巻第4号(1996年), 「サニタリープラント用ダブルシートバルブ」鈴木, 配管と装置, 1991年9月号, 「バルブシステムとそのダブルシートバルブの使用例」(株)ツーンヘンハーゲンジャパン技術資料