III. パイプレスプロセスによる

化学工場のフレキシブル化

丹 羽 忠 夫 (旭エンジニアリング(株))

特集解説

1. はじめに

産業界全体が多品種変量生産に変動している中で、化学工業製品も同様に、製品の多様化の影響を受けている。比較的汎用品である汎用プラスチック類も、重合工程では少品種多量生産であるが、最終製品では物性、製品の形状は多品種変量化が求められている。

特に最終消費者に近いファインケミカル分野では多品種変量生産の傾向が著しくなっている。そして、従来の生産技術の延長線上で多品種変量生産化を図るといろいろな問題が顕在化する。

化学工業界においても、これらの諸問題に対処したシステムとして注目を浴びているのがFMS(Flexible Manufacturing System)であり、このFMSに支えられたCIM(Computer Integrated Manufacturing)である。

しかし、化学工業界ではCIM構築に必要なプロセスそのもののフレキシビリティがないのが実状であった。CIM構築を可能とするFMSを狙ったシステムとして、旭エンジニアリングではパイプレスプロセスの開発、工業化を行ってきた。

すでにパイプレスプロセスの実績プラントも十指を越え、市民権を得てきたといえる。

これまでの実績の経験を踏まえて、CIM構築を支えるパイプレスプロセスの紹介をしたい。

2. 化学工業の生産技術の動向

パイプレスプロセスの開発、工業化を理解していたくために、まず化学工業界の生産技術に触れたい。

2.1 素材型と加工型化学工業

1950年代に石炭原料から石油原料を出発点とした

(出所：伊丹敬之「日本の化学産業はなぜ世界に立ち遅れたか」より)

図1 素材型化学工業と加工型化学工業の出荷額比

石油化学時代に移り変わるに従って、原料から最終製品への物の流れはフラットからピラミッド形に変わってきた。したがって化学工業界は原油精製に近い川上分野と、誘導品および最終消費者に近いファインケミカル製品群の川下分野に分けられる。川上分野の素材型化学工業に対して、川下分野は加工型化学工業と呼ばれている。そして、図1にみられるように、1980年代には素材型化学工業と加工型化学工業の出荷額の比率は逆転してきた。

この割合が増加している加工型化学工業にとって、重要なのは生産技術である。機械組立型である自動車産業、家電産業が生産技術でこれまで国際競争力を伸ばしてきた状況に、化学工業も近づいてきたといえる。

このような傾向から、化学工業界においても多品種変量生産化およびFMS化、CIM化が重要であるとの認識が広まったといえる。

2.2 加工型化学工業の問題点

従来型生産方式では多品種変量生産に十分に対応できず、いろいろな問題点を生じてきている。これらの問題点を解決するのが今後の加工型化学工業の重要課題である。これらの問題点として次のようなものがある。

III. Flexible Manufacturing System by Pipeless Process.
By Tadao Niwa (Asahi Engineering Corp.)

キーワード：多目的バッチプロセス、パイプレスプロセス、
FMS, CIM, 多品種変量生産

T. IEE Japan, Vol. 113-D, No. 3, '93

野である。

3. パイプレスプロセス

以上のような多品種変量生産化に伴う各種の問題点の解決策としてと同時に、化学工業のFA化、CIM化阻害の解決方法としてパイプレスプロセスの開発、工業化を行ってきた。

3.1 パイプレスプロセスの概要

化学工業の各種の運転操作は、化学工学で定義されている単位操作（流動、伝熱、反応、蒸留、etc）の組み合わせである。そして、ジョブショップ型の機械組立産業と違って、配管で機器類を継いで操作を行っている。パイプレスプロセスは、これらの単位操作の組み合わせに基づいて行っていた操作を、配管を排除することにより、よりジョブショップ型産業に近づけたものである。表1に、各単位操作とジョブショップ的に機能をまとめたST（ステーション）の関係を示す。

このように、化学工業の各操作機能をジョブショップ的にSTとして独立させたことは次のような概念に基づいている。

(1) 機能の集約 化学工業の操作を機能ごとにとらえて整理すると、表1のように、調合・仕込ST、反応・加熱ST、蒸留ST、抽出・分離ST、サンプリング・分析ST、洗浄STの6STで、ほぼどのような操作も可能となる。ただし、ろ過、乾燥操作などは固定設備となる。

これらのST間をコンピュータを搭載した反応槽が移動し、任意に各STを選択することにより、必要なプロセスをその都度構成できる。したがって新商品の生産が容易に可能となり、新商品の上市までのリード

表1 単位操作と操作機能

単位操作	操作機能	ST名
流動および貯蔵	計量と調合	可(調合ST)
伝熱	反応と温度コントロール	可(反応ST)
反応		
蒸留	蒸留	可(蒸留ST)
ストリップング		
抽出	抽出、晶析	可(抽出、晶析ST)
塩析、晶析		
サンプリング、分析	サンプリングと払出	可(サンプリング、払出ST)
洗浄	洗淨	可(洗淨ST)
濾過、分離	分離	否
乾燥	乾燥	否
貯蔵と包装	貯蔵と包装	否

ST：ステーション

図4 制御機能の集約

タイムは極めて短縮化できる。

また、各機器は機能ごとに集約してあるので、従来プロセスと比べてかなり高い稼働率が達成可能となる。

(2) 各工程(ST)の自律分散 各工程(ST)は互いに完全に独立し、自律分散している。このために能力の変更、生産品目の変化に対しては極めて容易に対応可能である。

一例として、制御系を従来方式と比較した結果を図4に示すが、各工程が自律分散していることがわかる。

3.2 パイプレスプロセスの要素技術

パイプレスプロセスの概念は従来なかったものであり、この概念に従って新しい要素技術を創作し、開発する必要があった。

これらの要素技術は次のようなものである。

(1) 反応槽自動搬送設備 反応槽を各STに搬送する方法は、有軌道方式と無軌道方式がある。無軌道方式は駆動源をバッテリーとするために、移動のフレキシビリティは大きいですが、防爆化に難点がある。また、各反応槽ごとに駆動台車を固定する方法と、移動台車を共有化する方法があるが、反応槽が複数であれば共有化の方がコスト的に有利である。

(2) 反応槽位置決め設備 反応槽を各STに移動し、配管の接続、電源の接続のために高精度をもって位置決めが必要である。

また、危険物などには耐震強度も考慮した固定方式が必要である。

(3) 配管自動接続設備 各STで反応槽への原料の供給、製品の払出、用役の供給などのために配管の接続が必要となる。

流体により、また環境によって配管接続の方式も変

図 5 各要素技術の組み合わせ

わり、そして信頼性が高いことも必要である。

(4) 電源自動接続 反応槽に電源を供給するために、バッテリーを用いる方法と、外部より電源を供給する方法がある。外部から電源を供給するには電源自動接続設備が必要となる。

(5) 制御信号伝送設備 反応槽に付帯する各種のセンサ (圧力、温度、レベル、pH、etc) からの信号を外部に伝える設備が必要である。一般的に光信号か、無線信号が使われるが、光信号の方が信頼性は高い。

(6) プロセス制御システム パイプレスプロセスの特徴はパイプがないことであり、そのために自動弁の数は極めて少ない。従って制御の入出点数も少ないので制御ソフトも小さくできる。

(7) 生産計画スケジューラ 毎バッチごとに切り替えられる生産品種、受注生産化のため頻繁な生産スケジュールの変更に対応するには、従来方式のベテラン係員による生産計画の作成では最適生産計画化は難しい。自動スケジューラが必要である。

(8) 設計用シミュレーションソフト 反応槽を固定した従来型バッチプロセスでは、設計は仕様に従って静的に決定が可能であった。パイプレスプロセスは槽が移動するために、動的解析が必要となり、設計用シミュレーションはパイプレスプロセスの設計には必須のものである。

これらの各種要素技術の関連は図5に示した。

3.3 パイプレスプロセスの特長

多品種変量生産を効率的に行う手段として開発されたパイプレスプロセスは、いろいろな特長をもっている。

(1) フレキシブルなプロセス フレキシブルとは次のような三つの要素を満足するものである。

① 量のフレキシブル 必要な量のみの生産を可能とするフレキシブル (数種類の大きさの反応槽の中から必要な大きさを選択して対応)

② 品種のフレキシブル 必要な品種を必要に応じて生産可能 (自律分散している各STを任意に選択して達成できる)

③ タイミングのフレキシブル 必要なときに生産可能 (任意に生産品種の切替を行うことが可能)

以上のようなフレキシブルさにより、生産の本質である、必要な物を、必要なときに、必要量生産することが可能となる。

(2) 高効率生産の達成 多品種製品を効率的に生産可能である。したがって生産コストは競争力を十分もったものになる。

(3) 高品質製品が生産可能 洗浄部分が少なく、洗浄が簡単に実施できるので、品種切替によるコンタミネーションは極めて少ない。

(4) 3K職場からの解放 パイプレスプロセスは、化学工業という装置産業に機械要素であるロボット技術を取り入れたものである。従来型プロセスに比較して、人力を直接的に必要な部分を排除しているので、3K的操作の排除は容易である。

(5) 環境対応型プロセス 受注生産対応により、副生物、廃棄物の発生は最少限にできる。特に洗浄等により発生する廃溶剤、製品のロス品は最少化が可能であるために本質的環境対応プロセスに近づいている。

(6) 新製品の生産が容易 ベンチスケールで開発された新製品も、大規模なプラント改造なく、生産可能である。

3.4 パイプレスプロセスの適応分野

多品種変量生産のニーズのある分野に適応可能とい

図 6 潤滑油プラントの比較例

図 7 潤滑油プラント

える。特にファインケミカル分野（香料、食品、医薬、化粧品、洗剤、農薬、染料、塗料、感光剤、触媒、合成樹脂添加剤、油滑油、特殊溶剤）、電子材料部品、成型加工品などの生産に適している。

4. パイプレスプロセスの導入例

現在までの導入例から、潤滑油プラントの例を示す。図6は従来型パッチプロセスとパイプレスプロセ

スの比較であるが、本ケースは、従来型パッチプロセスでは反応槽が10槽必要であったのが、パイプレスプロセスでは5槽である。また、図6にみられるように、調合、反応、払出などの付帯設備も大幅に少なくなっている。

図7は実際のプラントの全景である。

5. おわりに

旭エンジニアリングがパイプレスプロセスの開発、工業化を開始してからすでに実プラントは10指を越えている。

開発当初は、1反応槽、数STであったシステムが、最近では20反応槽、30STに近い大型システムになってきている。また、全体のシステムはCIMを狙って、膨大なコンピュータシステムに支えられている。

現状のような大規模システムを開発当初は予想していなかったが、出来上ってみると、周辺のインフラストラクチャの技術（コンピュータ、メカトロ、各種ソフト技術）の質の高さを見直している。

しかし、21世紀の次世代に向けて革新的技術にすべく努力中である。

今回、電気関係の方々にパイプレスプロセスの紹介の機会を与えていただき感謝していると同時に、ご意見、ご批判があれば是非お聞かせ願いたい。

（平成5年2月9日受付）

文 献

- (1) 伊丹敬元：「日本の化学工業なぜ世界に立ち遅れたか」（平3）NTT出版
- (2) 丹羽忠夫：「CIM構築を支援する多目的パッチプロセス」，化学装置，Vol. 32，No. 1，No. 5，No. 8，No. 10，No. 12（平2）Vol. 33，No. 1，No. 11（平3）Vol. 34，No. 1，（平4）Vol. 35，No. 1（平5）
- (3) 丹羽忠夫：「新生産システムとエンジニアリング企業」，化学経済，Vol. 32，No. 2，No. 9，No. 12（昭63）Vol. 38，No. 12（平3）Vol. 39，No. 12（平4）

丹 羽 忠 夫

昭和41年名古屋大学工学部化学工学科卒業，43年同大学大学院修士終了。同年旭化成工業（株）入社。48～56年同社水島工場設備管理担当，56～61年水島工場製造課長。61年旭エンジニアリング（株）技術部副部長，平成3年同社技術部担当部長。平成3年度石油学会技術進歩賞，平成4年度化学工学会技術賞受賞。