能動機構と多次元ビュー生成に基づくバッチ製造情報管理システムの実現*

高田 秀志**・島川 博光**・浅野 義智***・竹垣 盛一**

A Batch Manufacturing Information Management System Based on Active Mechanism and Multidimensional View Generation*

Hideyuki TAKADA**, Hiromitsu SHIMAKAWA**, Yoshitomo ASANO***
and Morikazu TAKEGAKI**

In batch manufacturing information management systems, software productivity is a big problem because it is difficult to provide commonly-utilized software layer due to differences of plant facilities and production processes among target plants. In this paper, we present a model of a batch tracing mechanism and a view generation mechanism which can be utilized as a software layer organizing a batch manufacturing information management system. In addition, we confirmed that an application of this software layer for a model plant can be performed in short time and run-time performance is good enough for a practical use.

1. まえがき

近年,生産現場へのパソコンなどの汎用計算機の普及に伴って,製造管理システムの高機能化が求められている。本論文で対象とする製造情報管理システムは,食品や化学製品など,製造分野では最も一般的なバッチプロセスを対象とする。バッチプロセスは,バッチと呼ばれる単位に区切って製品を製造する。バッチプロセスにおける製造情報管理に最も求められる機能は,製造設備から周期的に収集される状態履歴データと,製造設備間を移動するバッチとの関連付けである。たとえば,消費者からの苦情や品質検査などの段階で製造物に不具合が見つかった場合,その製造過程においてどの製造設備で問題があったかを分析するには,そのバッチが各製造設備に存在していた時の状態履歴が必要である。このような機能を実現するには,計算機中でバッチプロセス内のバッチの

動きを追跡してそれを履歴として格納し,プラントの操作員には,着目されたバッチに関する情報を合成して提供する機構が必要となる。このような機構を実現する際,現状では,バッチプロセス内のバッチの動きや,データの利用形態が対象プラントごとに異なることから,バッチの追跡機構やデータ提供機構をすべて対象プラントごとに構築しており,ソフトウェアの生産性が非常に悪い。

この理由には,以下に述べるバッチプロセス特有の性質から,バッチ追跡機構やデータ提供機構を複数の対象プラント間で共通化し,モデル化することが進んでいないことが挙げられる。まず,バッチプロセスの製造過程においては,たとえば,複数の種類の液体を混合したり,逆に複数の種類の液体に分離したりするなどのように,バッチを混合したり分割したりする過程が存在する。そのため,対象プラント間で共通のデータ構造を決定しにくい。また,データの利用形態も,連続プロセスなどにおける帳票のようなものでは十分でなく,製造設備に着目したり,バッチに着目したりといった多視点からの分析作業を支援できるものでなくてはならない。しかし,このようなデータの生成は,対象プラントごとに異なるバッチの流れに依存しているため,データ提供機構に含まれるデータベースへの問合せ手順なども一般化するのが困難である。

本論文では,バッチプロセスにおける製造情報管理シ

* 原稿受付 1996年10月3日

** 三菱電機(株)産業システム研究所 Industrial Electronics & Systems Lab., Mitsubishi Electric Corp.; Tsukaguchi-Honmachi 8-1-1, Amagasaki city, Hyogo 661, JAPAN

*** 三菱電機(株)電力・産業システム事業所 Energy & Industrial Systems Center, Mitsubishi Electric Corp.; Yadasaki-cho 1-1-2, Hyogo word, Kobe city, Hyogo 652, JAPAN

Key Words: database, active mechanism, multidimensional view, manufacturing information management, batch processes.

システムを構築するうえで必要となるバッチ追跡機構、および、データ提供機構について、それらを対象プラント間で共通化するためのバッチ製造情報管理モデルと、それに基づいて構築したバッチ製造情報管理システムについて述べる。本システムは、以下のような特徴を持つ。

- バッチを追跡するために、バッチプロセス内の製造設備をバッチの混合や分割の形態によって5種類に分類する。また、オブジェクト指向データモデルを応用し、バッチの混合や分割をリンクによるポイント操作だけで表現可能な製造情報管理データモデルに基づくバッチ追跡機構を提供する。
- バッチプロセスを「時間軸上でバッチが製造設備間を移動する」ととらえ、データの利用形態として、時間・製造設備・バッチのそれぞれに着目した多次元ビューを生成するデータ提供機構を提供する。
- 対象プラントごとに異なる収集データや設備構成、バッチの流れ等を、GUIにより指定可能な定義ツールを提供する。

以下、2.では、バッチプロセスの概要とその製造情報管理システムに要求される機能について述べる。3.では、本製造情報管理システムを実現するためのモデルについて述べ、4.でそのモデルに基づいたシステムの实现手法について述べる。5.では、コーヒー製造プラントを題材としたプロトタイプシステムの紹介とその評価について述べ、6.ではまとめと今後の展望を述べる。

2. バッチプロセスにおける製造情報管理

ここでは、バッチプロセスの監視制御システムの標準化について述べられている参考文献5)をもとに、バッチプロセスにおける製造情報管理に要求される機能について述べる。

2.1 バッチプロセスの概要

製造プロセスは、製造設備と製造物から構成され、その性質によって以下の3種類に分類される。

- 連続プロセス (continuous process)
ものを切れ目無く連続的に製造する製造プロセス。製造設備の管理に重点が置かれる。
- 組立プロセス (discrete parts manufacturing process)
複数の部品からものを組み上げていく製造プロセス。製造物の管理に重点が置かれる。
- バッチプロセス (batch process)
ものを単位ごとに区切って製造する製造プロセス。製造設備と製造物の両方に重点を置く必要があり、相互の関連も管理する必要がある。

このように、バッチプロセスは連続プロセスと組立プロセスの両方の性質を持ち合わせている。

実際の製造プロセスにおいては、バッチはバッチ番号などの識別子により、お互いが識別される。しかし、原材料投入から最終製品になるまで、同じ識別子を持つとは限らない。たとえば、複数のバッチを混ぜ合わせたり、一つのバッチを複数に小分けしたりするような操作が行われ、バッチ番号の付け替えが行われることがある。また、製造手順も一様ではなく、バッチの品種などによって製造設備間を移動する順序が変更されたり、実際の製造結果に基づいて動的に変更されたりすることが多い。

このようなバッチプロセス特有の性質から、その運転支援や運転管理を行う製造情報管理システムでは、プラント内で製造されるバッチを追跡する機能や、バッチに着目したり製造設備に着目したりしてデータを利用できる機能が必要となる。

2.2 バッチ製造情報管理への要求

2.1で述べたバッチプロセスの性質を考慮して、その製造情報管理システムには、以下のような機能が要求される。

- 設備に備えつけられたセンサなどから周期的にサンプリングして蓄積した状態履歴データと、その設備により製造された各バッチとの関連を、容易に引き出すことができる。
 - あるバッチがどのような製造手順で、どのような混合や分離などの操作が行われて製造されたかを容易に追跡できる。
 - 新しい品種の追加による製造手順の変更や、新しい製造設備の追加などが容易に行える。
- このような要求を満たすバッチ製造情報管理システムを実現するために、我々は以下のような点に着目する。
- バッチや製造設備などの複数の角度から収集データを提供できる機構の提供
 - 製造手順の変更や、バッチの混合や分割を表現可能なデータモデルの提供
 - 実際の製造プロセスの製造に合わせて、データを構造化する機構の提供

3.では、これらを実現するバッチ製造情報管理モデルについて述べる。

3. バッチ製造情報管理モデル

3.1 多次元ビュー

先に述べたとおり、バッチプロセスでは、製造設備から周期的に収集された状態履歴と、製造設備間を移動して製造されたバッチとの関連を管理する必要がある。本製造情報管理システムでは、この要求に対して、収集さ

れたデータから多次元ビューを生成することにより、操作員が時間・製造設備・バッチ間の関連を導出可能な情報を提供する手法をとる。データベースにおけるビュー¹⁾とは、ある形式（スキーマ）で格納されているデータを別の形式で表現した仮想的なデータである。バッチプロセスは、時間軸上で複数の製造設備間を製造物が移動するととらえることができる。このバッチプロセスを多面的にとらえて、各視点から見たときにどのように見えるかが、Fig. 1に示した本製造情報管理システムの多次元ビューの概念である。図中の立方体の中に製造プロセスが入っていると仮定すると、この製造プロセスを三つの面から見る事ができる。まず、上から見た場合、製造プロセス内の製造物の動き全体を見渡すことができる。つぎに、右側面から見た場合、ある製造設備における各バッチの製造状況を見ることができる。最後に、左側面から見た場合、一つのバッチが各製造設備を流れていく様子を見ることができる。立方体に製造プロセスを格納した場合、この3種類の見方で対象を的確にとらえることができる。

Fig. 1 A concept of the multidimensional views

したがって、本製造情報管理システムでは、バッチプロセスから収集されたデータを、以下の三つのビューで提供する。

- プラントビュー

プラント全体を見渡し、「いつ、どこで、何を」を表現する。これにより、たとえば、製造プロセスの効率的な運用計画を立てるための支援を行うことができる。

- ユニットビュー

ある製造設備（ユニット）に着目し、「いつ、何が、どのように」を表現する。これにより、たとえば、製造設備に不具合が発生した場合の各バッチへの影響などの分析を支援することができる。

- バッチビュー

あるバッチに着目し、「いつ、どこで、どのように」を表現する。これにより、たとえば、製造物のあるバッチに不具合が見つかった場合、どの製造設備に問題があったかなどを推測することができる。

以下、対象となる製造プロセス中に m 個の製造設備 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ が存在し、 n 個のバッチ $B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$ が製造された状態でビューを生成すると仮定し、各ビューの定義について述べる。

3.1.1 プラントビュー

プラントビューは、指定された時区間において、各製造設備において製造中であったバッチを表現するものとして、以下のように定義される。

- プラントビュー取得の指定条件は、

- 取得時区間 $[t_s, t_e]$
- 獲得時間幅 t_p

である。

- プラントビュー PV は、

$$PV = \{pv_{t_i} | t_i = t_s + (i-1)t_p, 1 \leq i \leq \lceil (t_e - t_s)/t_p \rceil\}$$

で表される時刻 t_i におけるプラントビュー要素 pv_{t_i} の集合である。

- 時刻 t_i におけるプラントビュー要素 pv_{t_i} は、以下のような属性を含む。

- 時刻印 t_i 。
- 時刻 t_i において、各製造設備 $u_1, u_2, \dots, u_m$ で製造されていたバッチ $b_{u_1}^{t_i}, b_{u_2}^{t_i}, \dots, b_{u_m}^{t_i}$ 。

3.1.2 ユニットビュー

ユニットビューは、指定された時区間において、指定された製造設備で製造中であった各バッチの状態履歴を表現するものとして、以下のように定義される。

- ユニットビュー取得の指定条件は、

- 製造設備 $u \in U$
- 取得時区間 $[t_s, t_e]$

である。

- ユニットビュー UV は、

$$UV = \{uv_{b_i} | \forall b_i \in B^{(u, t_s, t_e)}\}$$

で表される k 個のユニットビュー要素 uv_{b_i} の集合である。ここで、 $B^{(u, t_s, t_e)}$ は、 B の部分集合であり、時区間 $[t_s, t_e]$ に製造設備 u において製造された k 個のバッチの集合である。

- 各ユニットビュー要素 $uv_{b_i}(b_i \in B^{(u, t_s, t_e)})$ は、以下の項目を含む。
 - － バッチ識別子 $b_{ID}^{b_i}$ 。
 - － バッチ b_i が製造設備 u において製造された開始時刻 $t_s^{(u, b_i)}$ と終了時刻 $t_e^{(u, b_i)}$ 。
 - － 時区間 $[t_s^{(u, b_i)}, t_e^{(u, b_i)})$ における製造設備 u から取得された状態量 $St_{u, t_s^{(u, b_i)}, t_e^{(u, b_i)}}^{(u, b_i)}$ 。

3.1.3 バッチビュー

バッチビューは、指定されたバッチが経由してきた各製造設備における状態履歴を表現するものとして、以下のように定義される。

- バッチビュー取得の指定条件は、
 - － バッチ $b \in B$
 である。一般に、ここで指定されるバッチは、最終製品に関するバッチとする。
- バッチ b から導出可能な k 個のバッチを、 $B^b = \{b_1^b, b_2^b, \dots, b_k^b\}$ とする。ここで、導出可能なバッチとは、製造過程において、バッチの混合や分割が行われた場合、混合元や分割先を導出したバッチを再帰的に求めたものをいう。

- バッチビュー BV は、

$$BV = \{bv_{u_i^b} | \forall u_i^b \in U^b\}$$

で表わされる l 個のバッチビュー要素 $bv_{u_i^b}$ の集合である。ここで、 U^b は、 B^b 中の少なくとも一つのバッチが経由した製造設備の集合である。

- バッチビュー要素 $bv_{u_i^b}$ は、以下のデータを含む。
 - － 製造設備識別子 $u_{ID}^{u_i^b}$ 。
 - － B^b 中のバッチのうち、 u_i^b を経由してきた h 個のバッチ $b_1^{(b, u_i^b)}, b_2^{(b, u_i^b)}, \dots, b_h^{(b, u_i^b)}$ のそれぞれに対するユニットビュー要素 $uv_{b_q^{(b, u_i^b)}}^{(b, u_i^b)} (1 \leq q \leq h)$ 。

3.2 製造情報管理データモデル

3.1で述べたビューを生成するには、製造設備間のバッチの動きを検知することにより追跡し、その履歴を蓄積する必要がある。先に述べたとおり、製造物であるバッチは、製造が進むに従って製造プロセス内の製造設備間を移動する。また、最終製造物が製造されるまでに、複数のバッチが混合されたり、一つのバッチが複数に分割されたりする。このようなバッチプロセス特有の製造状況を計算機中に表現するために、対象の設備やバッチを一つ一つの物とみなし、それぞれの状態とその物で行う処理をカプセル化できるオブジェクト指向データモデルを採用する。

3.2.1 オブジェクト型

バッチ追跡機構のためのオブジェクトとしては、以下のようなものが定義される。

- トレンドオブジェクト
製造設備から獲得されたデータを時系列として扱うためのオブジェクトであり、各製造設備における状態履歴を時系列的に表現する。
- イベントオブジェクト
製造プロセス内の状態変化を扱うためのオブジェクトであり、製造プロセス内でのバッチの動きを通知するのに用いられる。
- バッチオブジェクト
製造プロセス内で製造される各バッチに対応するオブジェクトであり、以下のような属性を持つ。
 - － バッチ識別子 (バッチ番号)
 - － 各製造設備に対する処理開始時刻, 処理終了時刻
 - － 混合されたり分割された場合の、元バッチに対するバッチオブジェクトへのリンク。
- 製造設備 (ユニット) オブジェクト
製造プロセス内の各製造設備に対応するオブジェクトであり、製造設備名などの固定情報の他に、以下のような属性を持つ。
 - － 処理中バッチ
現在、その製造設備で製造中のバッチに対するバッチオブジェクトへのリンク。
 - － 処理済バッチ
その製造設備で製造され、次の製造設備へ渡されるのを待っているバッチに対するバッチオブジェクトへのリンク。
 - － トレンドデータ
その製造設備から獲得された状態量を時系列として表現したトレンドオブジェクトへのリンク。

3.2.2 データ構造

3.2.1で述べた各オブジェクトは、Fig. 2に示すように構造化される。製造設備オブジェクトには、その時点で製造中のバッチに対するバッチオブジェクトがリンクでつながれる。イベントオブジェクトは、製造プロセス内のバッチの動きに対して、それを各製造設備オブジェクトに対して報告する。また、バッチの混合や分割が行われた場合は、バッチオブジェクト間でリンクが張られる。このようなデータ構造を採ることで、実際の製造プロセス内のバッチの動きを仮想的に再現できる。

3.3 能動機構によるバッチの追跡

3.2で述べた製造情報管理データモデルをとった場合、実際の製造プロセス内でのバッチの動きに合わせて、バッチオブジェクトを製造設備オブジェクト間で移動させる必要がある。

データベース中、あるいは、外界で発生した事象に対して処理を起動するための枠組みとしては、能動機構²⁾

Fig. 2 Data organization for the batch tracing mechanism

が知られている。能動機構はECA機構とも呼ばれ、ある事象(event)が発生したとき、条件(condition)を評価し、満たしていれば対応する動作(action)を起動するというものである。製造プロセス内では、様々な事象が発生し得るが、本製造情報管理システムでは、バッチの動きを事象として検知し、それをバッチ追跡に用いる。

バッチは、以下のようにして能動機構により追跡され、データベース中に蓄積される。

- ある製造設備において製造開始の事象が発生したとき、前工程からバッチオブジェクトを取得する。
- ある製造設備において製造終了の事象が発生したとき、自工程で処理中のバッチオブジェクトを処理済とし、次工程へ渡す準備をする。

また、バッチの混合や分割を管理するために、製造設備をFig. 3に示す5種類に分類する。

Fig. 3 Unit primitives for the batch tracing mechanism

- 加工ユニット
一つのバッチを受取り、一つのバッチを受渡す。
- 混合ユニット
異なる種類の複数のバッチを受取り、一つのバッチ

を受渡す。

- 分離ユニット

一つのバッチを受取り、異なる種類の複数のバッチを受渡す。

- 蓄積ユニット

同じ種類の複数のバッチを受取り、一つのバッチを受渡す。

- 分割ユニット

一つのバッチを受取り、同じ種類の複数のバッチを受渡す。

製造設備オブジェクトは、このような分類に基づいてバッチオブジェクト間のリンクを実際の製造プロセスの進行に合わせて生成する。これにより、多次元ビューを生成する際に必要なバッチのプラント内での軌跡が追跡可能となる。

4. バッチ製造情報管理データベースの実現

4.1 システム構成

筆者らはすでに、プラント監視・制御システムを実現するための基盤として、プラントから実時間性を保証してデータを獲得・蓄積するReal-Time Data Server (RTDS)³⁾と、RTDSによって収集されたデータをオブジェクトとして構造化し、アプリケーションに提供するReal-Time View Server (RTVS)⁴⁾を開発している。このような構成とすることにより、製造プロセスからデータを確実に獲得してくることが要求される実時間処理と、その獲得したデータをバッチプロセスにおける物の流れと関連付けた製造情報として操作員に提供する非実時間的な処理を両立させることができる。

Fig. 4に、本製造情報管理システムの全体構成を示す。製造プロセスには、センサやアクチュエータ、コントローラなどが設置され、それらが実時間性を保証した制御系ネットワークで接続されている。RTDSは、この制御系ネットワークからデータの獲得およびディスクへの格納を、実時間性を確保して行う。また、獲得したデータからプラント内の状態変化を検知し、事象として情報系ネットワーク側へ提供する。RTVSは、一般的なオブジェクト指向データベースが提供している永続オブジェクトに加えて、RTDSにより提供されるプラント内のデータを、仮想的にオブジェクトとして扱うことのできるデータベースサーバである。RTDSにより提供されるプラント内のデータは、時間によって絶えず変化するため、それを仮想的なオブジェクトとして提供するには、その時間的な性質を考慮する必要があるが、RTVSでは、それを時間的正当性という概念を用いてデータの時間的な正しさを確保している。なお、RTDSおよびRTVSの詳細は、本

Fig. 4 The architecture of the manufacturing management system

論文の趣旨を超えるので、ここでは省略する。

RTDSおよびRTVSは、バッチプロセスに特化したものでなく、プラントシステムに対して汎用的に用いることができるが、バッチプロセスにおける製造物の流れや、データ提供の形態を管理するために、RTVS上に、3.1で述べた三つのビューを生成するビュー生成ライブラリ、および、3.3で述べたバッチの追跡を行うバッチ追跡ライブラリの二つのライブラリを構築している。

また、対象プラントごとに異なるプラントからの収集データや、設備構成、バッチの流れ等をGUI(図的利用者インターフェイス)で定義可能なRTDS定義ツール、および、RTVS定義ツールを提供している。これらのツールでは、以下のものが定義される。

(1) RTDS 定義ツール

- プラント内の各センサ等からのデータが格納されている制御系ネットワーク内でのアドレス割付けと、それをRTDSに取り込む際の収集周期やデータ構造。
- RTDS内に格納しているデータを上位系(本システムの場合はRTVS)に提供する際のデータ構造。
- バッチの動きなどのイベントを検出するための条件と、その際に同時に通知されるべきデータ。

(2) RTVS 定義ツール

- プラント内の製造設備の構成。
- プラント内で製造されるバッチ。
- バッチの製造設備間の移動条件(移動を検出するイベント、移動元・移動先の製造設備等)。

これらの定義情報に従って、各定義ツールはそれぞれ、RTDSおよびRTVSのソースコードを自動的に出力する(実際には、対象プラントに依存する部分のみを生成する)。これをコンパイル・リンクすることによって、対象プラントごとにカスタマイズされたバッチ製造情報管理システムが構築される。

4.2 ビュー生成ライブラリの実現

4.2.1 プラントビュー

Fig. 5に、プラントビューの構造を示す。各時刻に対して、各製造設備で製造中であったバッチが対応付けられている。

Time	u_1	u_2	...	u_m
t_s	$b_{u_1}^{t_s}$	$b_{u_2}^{t_s}$		$b_{u_m}^{t_s}$
$t_s + t_p$	$b_{u_1}^{t_s+t_p}$	$b_{u_2}^{t_s+t_p}$		$b_{u_m}^{t_s+t_p}$
$t_s + (i-1)t_p$	$b_{u_1}^{t_s+(i-1)t_p}$	$b_{u_2}^{t_s+(i-1)t_p}$		$b_{u_m}^{t_s+(i-1)t_p}$
$t_s + (l-1)t_p$	$b_{u_1}^{t_s+(l-1)t_p}$	$b_{u_2}^{t_s+(l-1)t_p}$		$b_{u_m}^{t_s+(l-1)t_p}$

pv_{t_i}

Fig. 5 Structure of the Plant View

プラントビュー取得条件として指定された取得時区間 $[t_s, t_e]$ 、および、取得時間幅 t_p から得られる各時刻、

$$t_i = t_s + (i-1)t_p \quad (1 \leq i \leq \lceil (t_e - t_s)/t_p \rceil)$$

および、各製造設備 u_j ($1 \leq j \leq m$) に対して、以下の手順により、製造設備 u_j 上で時刻 t_i において製造されていたバッチ $b_{u_j}^{t_i}$ を得る。

```

 $b_{u_j}^{t_i} = \text{NULL}$ 
for ( $b = b_1, b_2, \dots, b_n$ ) {
  if ( $b.u_j\text{-start} \leq t_i < b.u_j\text{-end}$ ) {
     $b_{u_j}^{t_i} = b$ 
  }
}
```

ここで、 $b.u_j\text{-start}$ および $b.u_j\text{-end}$ は、それぞれ、バッチ b に対するバッチオブジェクトに格納された製造設備 u_j における開始時刻、終了時刻である。これを、すべての u_j 、および、すべての t_i に対して行うことで、プラントビューが生成される。

4.2.2 ユニットビュー

ユニットビューの構造を、Fig. 6に示す。ユニットビューでは、指定された時区間 $[t_s, t_e]$ 中に製造設備 u において製造された各バッチに対して、そのバッチに関する情報、および、そのバッチを製造していたときの u の状態履歴が提供される。

ユニットビュー取得条件により指定された時区間 $[t_s, t_e]$ に製造設備 u において製造されたバッチの集合 $B^{(u, t_s, t_e)}$ は、以下の手順で取得される。

Fig. 6 Structure of the Unit View

```


$$B^{(u_i, t_s, t_e)} = \phi$$

for  $(b = b_1, b_2, \dots, b_n) \{$ 
  if  $(t_s \leq b.u_i.start \leq t_e \ \& \ t_s \leq b.u_i.end \leq t_e) \{$ 
    add  $b$  to  $B^{(u_i, t_s, t_e)}$ 
  }
}

```

この手順で求めた $B^{(u_i, t_s, t_e)}$ 中の各バッチに対して、その識別子を uv_{b_j} の $b_{ID}^{b_j}$, u における開始時刻および終了時刻を uv_{b_j} の $t_s^{(u, b_j)}$ および $t_e^{(u, b_j)}$, 時区間 $[t_s^{(u, b_j)}, t_e^{(u, b_j)}]$ における u の状態量を uv_{b_j} の $St_u^{t_s^{(u, b_j)}, t_e^{(u, b_j)}}$ とし, u に関する製造設備オブジェクトからリンクされているトレンドオブジェクトから取得することで, ユニットビューが生成される。

4.2.3 バッチビュー

バッチビューの構造を概念的に表したものを, Fig. 7に示す。指定されたバッチ b , および, それを生成する元となった中間製造物が経過してきた各製造設備における状態が提供される。

バッチビューは, 取得条件として指定されたバッチ b か

Fig. 7 Structure of the Batch View

ら導出可能なバッチを求める必要があるが, これは, バッチオブジェクトに記録されている, 元バッチを示すバッチオブジェクトへのリンクをたどることで求めることができる。また, バッチがある製造設備を経由したかどうかは, バッチオブジェクト内の各設備に対する入出時刻が記録されているかどうかで判定できる。

以上でバッチ b に対する各製造設備における導出可能なバッチが見つかるので, これらのバッチに対して, ユニットビュー生成時のユニットビュー要素を構成することでバッチビューが生成される。

4.3 バッチ追跡ライブラリの実現

バッチ追跡機構を実現するには, 製造プロセス内の状態変化からバッチ移動を RTDS により検知し, 前述のイベントオブジェクトに報告しなければならない。このイベントの検知条件は, 個々の対象プラントごとに異なるので, RTDS 定義ツールで行うが, その典型は以下のとおりである。

- (1) ある製造設備が稼働中であるかどうかの信号が, 制御系ネットワーク上に周期的に流される。
- (2) RTDS のデータ獲得処理は, 内部タイマにより周期的に起動される。この内部タイマによる割り込みを, ECA 機構の Event とみなす。
- (3) RTDS は, 獲得したデータを, 前回獲得したデータと比較する。もし, 前回獲得したデータの値が稼働中でなく, 今回獲得したそれが稼働中であった場合, バッチがその製造設備に投入されたと判断する。逆に, 前回獲得したデータの値が稼働中であり, 今回獲得したそれが稼働中ではなかった場合, バッチがその製造設備における処理を終えたと判断する。この条件が, ECA 機構の Condition とみなされる。
- (4) 製造設備の稼働状況が変化し, バッチの移動が検知されれば, RTDS はそれをバッチ番号や移動元／移動先設備などの付随情報と共に RTVS へ転送する。RTVS はそれをバッチ追跡ライブラリにイベントオブジェクトとして提供し, イベントオブジェクトは, 対応する製造設備オブジェクト内のメソッド (Process.Start, Process.End) を起動し, バッチオブジェクトへの時刻の記録や製造設備オブジェクトからのリンクの張り替えなどが行われる。この一連の動作が, ECA 機構の Action と見なされる。

製造プロセス内のバッチの動きに対して, 製造設備オブジェクトでは以下のメソッドを実行し, バッチの追跡を行う。

- **Process_Start**

イベントオブジェクトにより、その製造設備でのバッチ製造開始が報告されたとき、このメソッドが起動され、移動元製造設備の処理済バッチからバッチオブジェクトを取得し、バッチオブジェクト内の処理開始時刻を書き込み、自製造設備オブジェクトの処理中バッチ属性にリンクする。

- **Process_End**

イベントオブジェクトにより、その製造設備でのバッチ製造終了が報告されたとき、このメソッドが起動され、処理中バッチ属性にリンクされているバッチオブジェクトに処理終了時刻を書き込み、処理済バッチ属性にリンクする。

また、何らかの原因によるプラントからのイベントの通知もれ等によって、上記のバッチ追跡処理を行う際に矛盾を発見する場合がある（たとえば、処理中バッチが存在しないのに **Process_End** メソッドが起動された場合や、操作員の手動操作によりイベントが検出できなかった場合など）。そのような状況に対処するために、バッチ追跡ライブラリ内から矛盾を発見した場合に呼び出すべき処理を登録する機能を提供している。また、操作員が直接操作できるプログラムから、バッチ追跡機構内のバッチ追跡状態を変更できる機能も提供している。これらの機能を用いて、対象プラントの計算機内の状態と現実の状態との一貫性を取るための処理を記述することができる。

つぎに、バッチの混合や分岐が発生した際のバッチオブジェクト間でのリンクは、製造設備の種類に応じて、以下のように実行される。

- 製造設備が加工工程の場合は、何も行わない。
- 製造設備が混合工程、あるいは、蓄積工程の場合は、混じり合って新しく生成されたバッチに対するバッチオブジェクトから、混じり合う元のバッチオブジェクトへ1対多のリンクを張る。
- 製造設備が分離工程、あるいは、分割工程の場合は、分岐して新しく生成されたバッチに対するバッチオブジェクトから、分岐する元のバッチオブジェクトへ多対1のリンクを張る。

一般に、加工工程以外では、入力となったバッチと出力となったバッチでバッチオブジェクトの型が異なるため、混合工程と蓄積工程、あるいは、分離工程と分割工程では、バッチオブジェクト間のリンクを張るためのメソッドの実現が異なる。

5. 適用例と評価

4. までに述べたバッチ製造情報管理データベースにおける多次元ビュー生成機構、および、能動機構によるバツ

チ追跡機構を実現し、コーヒー製造プラントに適用したプロトタイプシステムを紹介する。

5.1 構成

本プロトタイプシステムは、Lynx 社の実時間 OS である LynxOS 上に構築され、以下の各サブシステムから構成される。

- **プラントシミュレータ**

コーヒー製造を模擬的に実施し、製造プロセスの状況をシミュレートする。シミュレート結果は、共有メモリ上に書き出される。

- **Real-Time Data Server (RTDS)**

シミュレータの出力結果を共有メモリから周期的に獲得し、時系列データとして格納する。また、バッチの動きを検知し、RTVS に通知する。

- **Real-Time View Server (RTVS)**

RTDS から報告されたバッチの動きに対する事象に基づき、バッチ追跡ライブラリによりバッチの流れの履歴を管理する。また、ビュー生成ライブラリにより、ビューを生成する。

- **データビュー**

ビュー生成ライブラリより取得した各ビューを表示する。

また、Microsoft 社の Windows95 上で動作可能な RTDS 定義ツール、RTVS 定義ツールにより、モデルプラントであるコーヒー製造プラントから収集するデータやプラント内の製造設備やバッチなどの構成を定義し、プラントごとにカスタマイズされたシステムが生成される。

5.2 実行例

Fig. 8に、コーヒー製造プラントにおけるプラントビューを示す。縦軸に各製造設備である、ロースタ（コーヒー豆の焙煎）、ミル（コーヒー豆の粉碎）、ブレンダー（コーヒー粉末の混合）、ドリッパ（コーヒー液の抽出）、ミキサ（クリームとシロップの混合）が並び、横軸の時刻に対して製造中であったバッチがバッチ番号を含んだ四角形で示されている。

Fig. 9は、ドリッパに対するユニットビューの例である。指定されたある時刻において製造中であった各バッチに対して、それぞれのバッチを抽出していたときの液温が示されている。

Fig. 10は、バッチビューの表示例である。あるバッチに対して、そのバッチがブレンダー、ドリッパ、ミキサの各製造設備に存在した際の、湿度や温度などが表示されている。なお、本コーヒー製造プラントでは、ミキサで四つのコーヒー液バッチを蓄積する処理を行っており、蓄積された後のバッチから、ブレンダーやドリッパにおける蓄積される前のバッチも導出されている。

Fig. 8 A screen example of the Plant View

Fig. 9 A screen example of the Unit View

Fig. 10 A screen example of the Batch View

5.3 評価

本システムを用いたコーヒー製造プラントへの適用に要した時間は、RTDSやRTVSにかかわる部分の定義、および、カスタマイズされたシステムの生成を合わせて、わずか数時間程度であった。また、鉄鋼プロセスへの適用のために評価を行った実際の型鋼製造プロセスを題材とした場合も、RTDSやRTVSの定義・生成にかかわる部分は、数日で終わることができた（実際には、画面表示等のデータベース以外の部分からの出戻りが生じたため、全体としては2週間程度を要した）。

また、Pentium 133MHzを搭載した産業用計算機上で本システムの性能の目安としては、状態量を10秒ごと、約3分ごとのバッチの投入程度の頻度でデータの取

集を1週間行った状態（時系列データとして工程ごとに6万データ、各ロットデータとして3000データ程度）での検索時間は、プラントビューで1秒程度、ユニットビュー、および、ロットビューで2秒程度であった。実際の製造プロセスへの運用時にはギガバイト単位のデータ量となるが、二分検索アルゴリズムを用いているので、十分な応答性を確保できると考えている。

6. あとがき

本論文では、バッチ製造情報管理システムの構築の際に、対象プラント間で共通に利用可能なソフトウェア階層を実現するためのバッチ追跡機構、および、データ提供機構のモデルと、その実現について述べた。本システムにより、対象プラントごとの違いによるソフトウェアの再利用性の無さをなくし、ソフトウェアの生産性向上を達成することが可能となった。現在、本論文で提案したモデルに基づき、鉄鋼プラントシステムの開発が進んでおり、生産性向上に貢献している。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、有益な御助言を頂きました京都大学工学部情報工学教室の上林弥彦教授、ならびに、上林研究室の皆様へ感謝いたします。

参考文献

- 1) C. J. Date: *An Introduction to Database Systems*, Addison-Wesley (1990)
- 2) K. R. Dittrich, S. Gatzju and A. Geppert: The active database management system manifesto: A rule-base of ADBMS features; *International Workshop of Rules in Database Systems*, pp. 3-17 (1995)
- 3) 島川, 水沼, 竹垣: プラント履歴データの実時間獲得・提供システム; 電子情報通信学会論文誌, D-I, Vol. J78-D-I, No. 8, pp. 798-806 (1995)
- 4) 高田, 島川, 浅野, 井戸, 竹垣: 時間的正当性を考慮したオブジェクトモデルに基づくプラント監視向けデータベースシステムの構築; 電子情報通信学会論文誌, D-I, Vol. J79-D-I, No. 10, pp. 853-862 (1996)
- 5) ISA S88.01 *Batch Control Standard Part 1: Models and Terminology*, Instrument Society of America (1995)