

有効期限に基づく時間的正当性を考慮した時間的オブジェクトモデルと その応用

高田秀志 島川博光 竹垣盛一
三菱電機(株) 産業システム研究所
〒661 尼崎市塚口本町 8-1-1

近年のプラント監視制御システムは、従来の制御用計算機だけでなく、ワークステーションやパソコンなどの汎用計算機も統合して構築されるようになってきている。このような環境でのシステム構築を支援するデータベースシステムを実現するためには、プラントから収集される時間的なデータをどうモデル化し、それを非時間的なデータとどのように関連付けて管理するかが問題となる。

本論文では、プラントから収集される時間的なデータを、瞬時値、時系列値、事象値に分類し、それらをクラスとして提供する時間的オブジェクトモデルを提案する。また、時間的正当性という概念を定義し、時間的オブジェクトが現実のプラントの状態と時間的に矛盾していないことを有効期限を用いて管理する。さらに、本モデルを生産情報管理システムに適用した例を紹介する。

A Temporal Object Model with Valid Interval Based Temporal Validity and Its Applications

Hideyuki Takada Hiromitsu Shimakawa Morikazu Takegaki
Industrial Electronics & Systems Lab., Mitsubishi Electric Corp.
8-1-1, Tsukaguchi Hon-machi, Amagasaki, Hyogo, 661 Japan

In recent years, plant monitoring and control systems are constructed utilizing not only traditional controllers but also general purpose computers such as workstations and PCs. This paper proposes an object model to realize database management systems for plant monitoring applications in such an environment. Three types of temporal objects are provided to represent continuously-changing data in a plant and temporal validity is defined for each type of temporal objects to manage the consistency between an actual plant status and values in the temporal objects. The paper also illustrates an application example of the database system based on the proposed object model.

1 まえがき

近年、プラント監視制御システムにおける機能の高度化や低価格化への要求から、従来の制御用計算機だけでなく、ワークステーションやパソコンなどの汎用計算機も統合してシステムが構築されるようになってきている。プラント監視システムは、プラントから実時間性を確保してデータを収集し、それを操作員に理解しやすい形式で提供することが要求される。代表的なものとしては、例えば、プラント状態量の変化をグラフで表示したり、異常を検知して警報を発したりするオンラインの監視システムや、製品に不具合が見つかった場合に、その製品の製造履歴を見る製造管理システムなどがある。このようなシステムの構築を支援するためのデータベースシステムでは、時間的に絶えず変化するプラント状態量に関するデータと、それほど変更が頻繁でない設備などのデータを統合して扱う必要がある。この場合、プラントから収集される時間的なデータをどうモデル化し、それを設備などの非時間的なデータとどのように関連付けて管理するかが問題となる。

データ処理の高速性、データ表現の容易性などの観点から、プラントシステムにもオブジェクト指向データベース [2] が導入されつつある [8]。しかし、現状のオブジェクト指向データベースが提供しているクラスライブラリなどのオブジェクトモデルでは、プラント監視システムに必要とされる時間的なデータの扱いが考慮されていないために、アプリケーション毎に独自のモデルを構築する必要がある。一方、時間的なデータを扱うデータベースとしては、時制データベース (Temporal Database) [5] が知られている。しかし、ここで提供されるデータモデルや質問言語などは、散発的に発生する事象 (例えば、社員の所属変更など) を扱うには適しているものの、プラント監視のように数百ミリ秒から数分単位で周期的に収集されるデータを扱うには、必ずしも適しているとは考えられない。また、ビデオや音声などのマルチメディアデータを時区間オブジェクトとして、オブジェクト間の同期などを表現可能なデータモデルを提供するアプローチもある [6][7]。しかし、プラント監視システムでは、現在のプラント内の状態を表す瞬時値や、事象の発生を示す事象値などを扱う必要もあり、これらは時区間オブジェクトとしては表現しづらい。したがって、プラント監視システムに適した時間的なオブジェクトモデルを定義し、従来のオブジェクトモデルを拡張する必要がある。加えて、この時間的なオブジェクトは現実のプラントの状態を反映しているために、その内容は時間と共に変化するべきである。すなわち、利用者、あるいは、アプリケーションが時間的なオブジェクトの内容を読み出したとき、それがプラントの状態と時間的に矛盾がないことを保証する必要がある。データの時間的な性質に関しては、[3] においてデータの時間的一貫性 (Temporal Consistency) として議論されているが、現在時刻に関するものだけに留まっており、過去の時系列のデータや事象の発生を示すデータの時間的な性質については議論されていない。

さらに、プラント内では様々な状態変化が発生し、それに伴うデータ処理を行わなければならない。例えば、製品の各ロットの製造履歴を管理するような場合には、設備の稼働状態 (起動や停止) からロットの動き

を検知し、その時刻をロットに関するデータに記録するなどの処理が必要となる。

本論文では、上記のような問題点を踏まえて、プラントから収集されるデータをオブジェクトとして扱うための時間的なオブジェクトモデルを提案する。本モデルでは、プラントからの時間的なデータを、瞬時値、時系列値、事象値に分類し、それらをクラスとして提供する。また、オブジェクトとして表現されたプラントの状態量が、現実のプラントの状態と時間的に矛盾していないことを管理するために、時間的正当性という概念を定義する。さらに、オブジェクトとして表現された事象値をもとに、能動機構 [1][4] を実現する枠組みについて述べる。

最後に、適用例として、工業プロセス向けの生産情報管理システムを実現した例を紹介する。

2 プラント監視システムの構成

プラントシステムは、制御系と情報系で構成される。制御系には、制御用計算機、センサ、アクチュエータなどが含まれ、これらがトークンリング方式などで実時間性を保証した制御系ネットワークで接続される。制御系ネットワークは一般に、転写メモリ (Reflective Memory) と呼ばれる一種の分散共有メモリによりノード間の通信を行う。一方、情報系には、生産管理や品質管理、帳票管理などの業務支援システムが含まれ、従来からの大型計算機に加えて、ワークステーションやパソコンなどの計算機が、イーサネットなどの汎用ネットワークで接続される。

このようなシステムを実現するために、我々は図1に示すような構成を採用している。この構成では、制御系ネットワークからのデータ獲得・格納処理を実時間性を保証して行う Real-Time Data Server (RTDS) と、RTDS で獲得されたデータをアプリケーションに適した形で利用できる環境を提供する Real-Time View Server (RTVS) に分けて、制御系と情報系の統合を実現している。

以下に、RTDS と RTVS の概要について述べる。

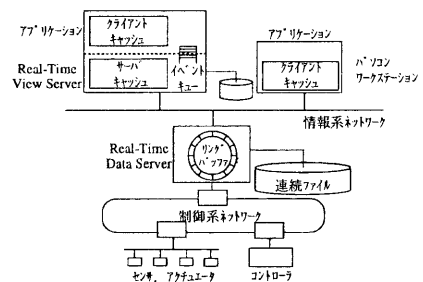


図1: プラント監視向けデータベースのアーキテクチャ

2.1 Real-Time Data Server

RTDS の構成および機能については、[9][10][11] に詳しいので、ここでは概要のみを述べる。RTDS は、最新の時刻印付きデータの周期的な転送、任意の過去

の期間のトレンドデータの検索、事象発生のお知らせの機能を有する。RTDSは、実時間OS上にマルチプロセス・マルチスレッド形式で実現され、以下のような処理を行う。

- 獲得プロセス
獲得プロセスは、制御系ネットワークからプラントデータを獲得し、時刻印を打った後、連続ファイルに保存する。また、獲得した瞬時値に対する評価を行うことで状態変化を検知し、クライアントに受け渡す。この評価のための条件は、獲得した瞬時値に関する一次(不)等式の形式でRTDS内のテーブルに格納され、クライアントから登録や変更、削除が可能である。
- 提供プロセス
提供プロセスは、獲得プロセスによって獲得されたプラントからの瞬時値を周期的に転送する周期読み出し処理と、蓄積された過去のトレンドデータを検索・転送する処理を、異なるスレッドで実行する。

これらのプロセスやスレッドは、周期の短いものに対してより高い優先度を与える Rate Monotonic Scheduling Analysis に基づいてスケジューリングされるため、実時間性が保証される。また、RTDS内に蓄積されたトレンドデータは、関係データモデルに基づいて格納され、クライアントに提供される際に、外部結合(Outer Join)などの演算によって合成される。

2.2 Real-Time View Server

RTVSは、一般の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によって提供される時間的性質を持ったプラントデータを仮想的にオブジェクトとして扱えるデータベースサーバである。本論文では、プラントデータを扱うための仮想的なオブジェクトを時間的オブジェクトと呼ぶ。以下に、RTVSの構成および機能の概要を述べる。

- RTVSにはディスクが備えられ、永続化オブジェクト、および、クラス情報などのメタデータが格納される。時間的オブジェクトは、データの实体はRTDSのディスク中に格納されているので、RTVSのディスクには格納されず、後述するサーバキャッシュ、クライアントキャッシュ上のみに置かれる。
- RTVS中には、サーバキャッシュが存在し、ディスク中に格納された永続オブジェクト、RTDSから転送された周期データ、時系列データを複数のクライアントで共有する際の性能向上を実現する。また、RTVS上のアプリケーション中にはクライアントキャッシュが存在し、同一ランザクション中での同一オブジェクトに対するアクセス性能の向上を実現している。
- クライアントキャッシュ中に置かれた時間的オブジェクトの時間的な正しさ(時間的正当性)は、有効期限の概念を用いて保証する。これについては、3.1章で詳しく述べる。

- 永続オブジェクト間のリンクに加えて、時間的オブジェクトへのリンクも扱うことを可能にし、時間的オブジェクトへのリンクは、時間をパラメータに持つ時間的リンクを設ける。これについては、3.2章で詳しく述べる。

- RTDSの状態変化通知機能により通知された事象をアプリケーションに通知するためにイベントキューを設け、通知されたイベントに基づいて処理を自動的に起動できる能動機構を提供する。これについては、3.3章で詳しく述べる。

このような構成では、利用者は最終的にアプリケーション中のクライアントキャッシュ上のデータを見ることになるため、アプリケーションが期待している時間のプラント内の状態を反映していなければならない。これを、次章から述べる時間的正当性の概念を用いて扱う。

3 プラント監視向けオブジェクトモデル

3.1 時間的オブジェクトとその時間的正当性

時間的オブジェクトとは、時間的性質を持つオブジェクトである。プラント監視向けの時間的オブジェクトを定義するために、オブジェクトが持つ時間的性質によって、以下の3つに分類する。

- リアルタイムオブジェクト
オブジェクトとして表現されたある監視対象の現在の状態を表す。
- トレンドオブジェクト
オブジェクトとして表現されたある監視対象のある時区間での状態の列を表す。
- イベントオブジェクト
オブジェクトとして表現されたある監視対象における事象の発生を表す。

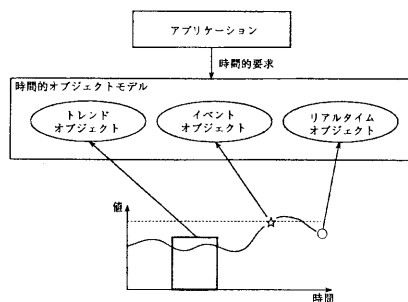


図 2: 時間的オブジェクトの概念

それぞれの時間的オブジェクトが持つ時間的性質を図2に示す。現実の時間軸上で動作するアプリケーションが持つ時間的要求に対して、各時間的オブジェクトは時間的に正しい状態であるべきである。

前章で述べたように、アプリケーションがアクセスするオブジェクトは、クライアントキャッシュ上に置か

れる。したがって、利用者がこれらの時間的オブジェクトから情報を取り出す場合、キャッシュ上に置かれたそのオブジェクトは時間的に正しい状態でなければならない。例えば、リアルタイムオブジェクトからある設備における温度を取得する場合、そのオブジェクトは「現在」として正しい温度値を保持している必要がある。そこで、時間的オブジェクトの時間的な正しさを、**時間的正当性**と呼ぶことにし、時間的オブジェクトを時間的に正しい状態にする処理(メソッド)を、**時間的正当化処理**と呼ぶことにする。以下、それぞれの時間的オブジェクトに対して、時間的正当性の定義と、正当化処理の手順について述べる。

3.1.1 リアルタイムオブジェクト

リアルタイムオブジェクトは、オブジェクトとして表現されたある監視対象の現在の状態(例えば、給湯タンク中の湯温など)を表すものである。しかし、プラント内の状態は時々刻々と変化しているため、厳密な意味で「現在」を保証することは非現実的である。そこで、リアルタイムオブジェクトに**有効期限**の概念を導入し、時間的正当性を以下のように定義する。有効期限は、電流などの変化の早いものか、あるいは、湯温などの変化の遅いものかといった監視対象の特性を考慮に入れ、オブジェクト生成時にアプリケーションによって指定される。

定義 1 リアルタイムオブジェクトの時間的正当性

キャッシュ上に置かれたリアルタイムオブジェクトの保持する値に対して、値に付された時刻印 t 、および、有効期限 t_v を設ける。現在時刻 t_p に対して、 $t_p < t + t_v$ を満たすとき、リアルタイムオブジェクトは時間的に正当であるとする。

リアルタイムオブジェクトの時間的正当化処理は、アプリケーションがリアルタイムオブジェクトの内容を読み出そうとした時点で、以下の手順により行われる。

Step 1: 上記の評価に従って、クライアントキャッシュ上のリアルタイムオブジェクトが正当であるかどうか判定する。

Step 2: 正当であれば、何も行わず終了。

Step 3: 正当でないならば、RTVS 上のサーバキャッシュから最新のデータを取り寄せ、クライアントキャッシュ上のリアルタイムオブジェクト内の値を更新する。

この機構により、アプリケーションプログラム構築時に、「現在」を保証するための特別な処理を記述する必要がなくなる。また、有効期限を適切に設定することにより、変化が緩やかな対象に対しては、サーバ・アプリケーション間のデータのやり取りを頻繁に行う必要がなくなり、データ取得時間の短縮と共に、ネットワーク負荷の軽減を達成できる。

3.1.2 トレンドオブジェクト

トレンドオブジェクトは、オブジェクトとして表現されたある監視対象の状態を、ある時区間に対してあ

る周期毎に並べたもの(例えば、12:00 から 13:00 の間の 1 分おきの給湯タンク中の湯温など)である。これは、マルチメディアデータベースにおけるビデオデータのような時区間オブジェクト [6] と類似しているが、実際にプラントから獲得されて格納されているデータの時刻印と、利用者やアプリケーションが希望する時刻印のずれなどから、やはり有効期限の概念が必要となる。リアルタイムオブジェクトと同様に、有効期限は、オブジェクト生成時にアプリケーションによって指定される。トレンドオブジェクトの時間的正当性は、以下のように定義される。

定義 2 トレンドオブジェクトの時間的正当性

トレンドオブジェクトの保持する値に対して、開始時刻 t_s 、終了時刻 t_e 、周期 p 、有効期限 t_v を設ける。このトレンドオブジェクトには、時刻 $\{t_s, t_s + p, t_s + 2p, \dots, t_e\}$ の値が格納されている。正当化のパラメータとして、開始時刻 t_{s_0} 、終了時刻 t_{e_0} 、周期 p_0 が与えられたとき、時刻 $\{t_{s_0}, t_{s_0} + p_0, t_{s_0} + 2p_0, \dots, t_{e_0}\}$ のそれぞれの要素 $t_i = t_{s_0} + ip_0 (i = 0, 1, 2, \dots, [(t_{e_0} - t_{s_0})/p_0])$ が、 $t_s + ip < t_i < (t_s + ip) + t_v$ を満たしているとき、トレンドオブジェクトは時間的に正当であるとする。

これに基づいたトレンドオブジェクトの時間的正当化処理は、アプリケーションがトレンドオブジェクトの内容を読み出そうとした時点で、以下の手順により行われる。

Step 1: 上記の評価に従って、クライアントキャッシュ上のトレンドオブジェクトが正当であるかどうか判定する。

Step 2: 正当であれば、何も行わず終了。

Step 3: 正当でないならば、RTVS 上のサーバキャッシュ、あるいは、RTDS から対応する時区間分のデータを取得する。

これにより、時系列のデータに対して、クライアントキャッシュ中に格納されているデータの時刻印とアプリケーションの要求したデータの時刻印の差が有効期限内に入っているとき、データが正当となり、サーバ・クライアント間のネットワーク負荷の軽減となる。また、周期的に獲得されたデータを利用するときも同様で、その場合、蓄積されたデータの有効利用につながる。

3.1.3 イベントオブジェクト

イベントオブジェクトは、オブジェクトとして表現された監視対象の状態変化を、付随するパラメータ(例えば、投入された製品のロット番号など)と共に通知するためのものである。イベントオブジェクトもクライアントキャッシュ上に置かれるが、アプリケーションがイベントオブジェクトにアクセスした際、何らかの状態変化が通知されていれば読み出しを許可し、通知されていない場合は読み出し処理をブロックするか、通知されていない旨を通知するかの制御を行う必要がある。従って、イベントオブジェクトに対しても、時間的正当性の概念は存在し、以下のように定義される。

定義 3 イベントオブジェクトの時間的正当性

プラント内で発生する事象の集合 E の部分集合 E_s

をイベントオブジェクト Oe が扱うとする。イベントキュー中に、事象 $e \in E_a$ が存在し、そのキューから e を取り出してイベントオブジェクトに格納することができた時、イベントオブジェクトは時間的正当性を満たすとする。もし、イベントキュー中に $e \in E_a$ が存在しない場合は、時間的正当性を満たさない。

ここで言うイベントキューとは、図1で示したアーキテクチャにおける、RTVSからアプリケーションへのキューのことである。これに基づいたイベントオブジェクトの時間的正当化処理は、アプリケーションがイベントオブジェクトの内容を読み出そうとした時点で、以下の手順により行われる。

Step 1: 上記の評価に従って、クライアントキャッシュ上のイベントオブジェクトが正当であるかどうか判定する。

Step 2: 正当であれば、終了する。

Step 3: 正当でないならば、正当であるまで正当化処理をブロックするか、あるいは、正当でない旨をアプリケーションに通知する。このどちらを行うかは、イベントオブジェクト生成の際にアプリケーションが指定する。

これにより、プラント監視システムで要求の高い状態変化駆動のアプリケーションを容易に実現することができ、3.3章で述べる能動機構を用いて、データ処理の自動起動を行うことができる。

3.2 時間的リンク

前節で述べたプラント監視向けの時間的オブジェクトは、RTDSによって獲得された膨大なデータの集合から、時区間などをパラメタとして一部分を抜き出した仮想的なオブジェクトとして見せるものであるため、時間的オブジェクトに対するリンクには、時間の概念を導入する必要がある。そこで、時間的オブジェクトへのリンクに対して、時間的リンクを提供する。時間的リンクは、リンク航行によりリンク先の時間的オブジェクトを取得する際に時間的正当化処理を行うことにより、時間的オブジェクトの時間的正当性を保証するものである。

時間的リンクは、リンク先の時間的オブジェクトの種類によって以下の3種類に分けられる。

- リアルタイムリンク
リアルタイムオブジェクトに対する時間的リンク。
- トレンドリンク
トレンドオブジェクトに対する時間的リンク。リンク航行の際に、時間的正当化のためのパラメタである開始時刻 t_{e_s} 、終了時刻 t_{e_e} 、周期 p_v を必要とする。
- イベントリンク
イベントオブジェクトに対する時間的リンク。

これにより、永続オブジェクトで表現される製品データや設備データと、時間的オブジェクトで表現されるある設備のプロセス量などを相互に関連付けて構造化することができ、後で述べる工業プロセス向け生産情報管理システムなどにおける制御系のデータと情報系のデータの統合利用を容易にする。

3.3 能動機構

イベントオブジェクトは、プラント内で発生した状態変化をアプリケーションが読み出すための受動的な機能に加えて、発生した状態変化に応じてあらかじめ登録されたメソッドを能動的に起動することにより、能動機構を実現する機能を提供している。このどちらの機能を利用するかは、アプリケーションが呼び出すイベントオブジェクト内のメソッドによって指定できる。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、満たしていれば動作 (Action) を実行するというものである。

本オブジェクトモデル上で提供される能動機構は、以下のように対応する。

- (1) プラントからのデータ獲得処理を周期的に起動するタイマからの割り込みを事象 (Event) と見なす。
- (2) 獲得したデータに対して条件 (Condition) を評価する。
- (3) 条件を満たせば、事象と条件の組に対してイベントオブジェクトにあらかじめ登録されたメソッドを、動作 (Action) として実行する。

本機構により、例えば、製造ライン中のある設備の稼働状態を周期的に獲得し、状態変化を検知して製品の流れを管理することにより、製品データを自律的に構築していくなどの処理が可能となる。

4 生産情報管理データベースシステムへの適用例

本章では、これまでに述べた時間的オブジェクトモデルに基づくデータベースシステムを構築し、工業プロセス向け生産情報管理システム [12] に適用した例を示す。本システムは、食品や化学製品など、製品を単位毎に区切って製造するバッチプロセスを対象としている。バッチプロセスにおける生産情報管理システムでは、例えば、あるロットに欠陥が発見されたような場合、そのロットが各製造設備を経由してきた際の設備の状態を得るなどのような作業を支援する必要がある。

図3に、本生産情報管理システムのデータ構造を示す。工程オブジェクトからロットオブジェクトへのリンクは、実際に製造が進むに従って工程オブジェクト内のメソッドによって張り替えられる。また、各ロット製造時の各工程のトレンドデータを引き出すために、ロットオブジェクトに各工程の開始・終了時刻が記録され、工程オブジェクトからトレンドオブジェクトへの時間的リンク航行の際のパラメタとして用いられる。

本システムでは、生産実績としての生産情報管理に用いるため、ロットの流れを追跡し、周期的に獲得されたデータとの関連付けを行っている。この関連付けは、能動機構を用いて、各設備の稼働状態を示す ON/OFF 情報を周期的に RTDS で獲得し、その状態変化を検知することにより、ロットの処理開始・終了を判定して行っている。

本生産情報管理システムをコーヒー製造プラントを題材とし、実行した例を図4に示す。取得データの表

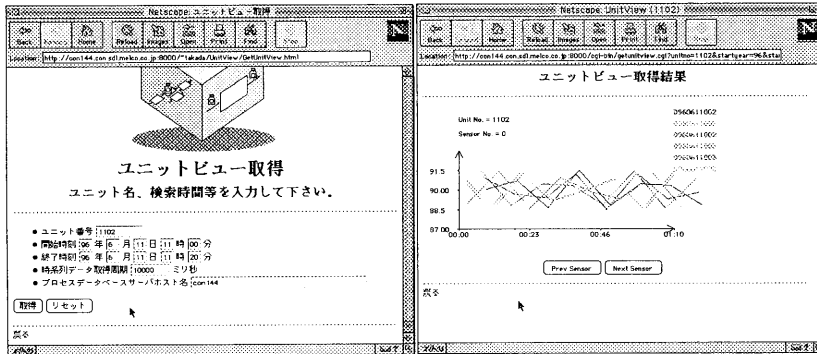


図 4: 生産情報管理システムの実行例

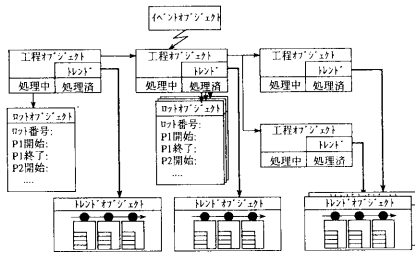


図 3: 生産情報管理システムのデータ構造

示には Java アプレットを用い、Netscape Navigator 上で実行した。本システムでは、プラントから獲得されたデータを、プロセスレビュー(全体の製品の流れ)、ユニットビュー(ある工程に着目した各ロットの製造状態)、および、バッチビュー(あるロットに着目した各工程での製造状態)の3つの形態で提供することができる。図4は、ユニットビューの表示例であり、ある時間帯においてドリッパー(湯を注いでコーヒーを抽出する装置)で製造された各バッチの温度状態を示している。

本システムは現在、製品化のための拡張を行っており、食品や化学関係のプラントへの適用が予定されている。

5 あとがき

本論文では、時間的正当性に基づく時間的オブジェクトモデルについて述べた。これにより、制御系と情報系が統合され、時間的なデータの扱いが容易となり、柔軟性や拡張性に優れたプラント監視システムの開発が可能となった。また、本モデルを適用して構築した工業プロセスにおける生産情報管理システムを紹介した。

今後は、重要度が高まると思われる、情報系からの制御のためのアーキテクチャの検討と拡張も行っていく予定である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、いつも熱心に御助言頂く、京都大学・上林教授に感謝いたします。

参考文献

- [1] K.R.Dittrich, S.Gatzju, A.Geppert, "The Active Database Management System Manifesto: A Rule-base of ADBMS Features," International Workshop of Rules in Database Systems, Athens, Greece, pp.3-17, Sept. 1995.
- [2] W.Kim, "Introduction to Object-Oriented Databases," The MIT Press, 1990.
- [3] K.Ramamritham, "Real-Time Databases," International Journal of Distributed and Parallel Database, 1, 2, pp.199-226, 1993.
- [4] D.R.McCarthy, U.Dayal, "The Architecture of an Active Data Base Management System," International Conference on Management of Data, pp.215-224, June 1989.
- [5] A.U.Tansel, J.Clifford, S.Gardia, S.Jajodia, A.Segev, R.Snodgrass, "Temporal Databases: Theory, Design, and Implementation," Benjamin/Cummings Publishing Co., 1993.
- [6] 増永, "マルチメディアデータベースと時間," 情報処理, Vol.36, No.5, pp.369-377, May 1995.
- [7] 増永, 清光, "時間的マルチメディアオブジェクトの同期表現と実装法," Advanced Database System Symposium, pp.79-85, Dec.1995.
- [8] 川村, 脇園, 土屋, 田中, "高速性と言語透過性を重視したオブジェクト指向データベース," 情報処理学会研究報告, 94-DBS-99-1, Jul. 1994.
- [9] 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," 信学論, D-I, Vol.778-D-I No.8, pp.798-806, Aug. 1995.
- [10] 島川, 井戸, 浅野, 竹垣, "実時間データサーバへのECA機能の導入," 電子情報通信学会研究報告 CPSY94-116 ~124, pp.49-56, Mar. 1995.
- [11] 井戸, 島川, 浅野, 竹垣, "周期・非周期データを統合する実時間データサーバ," 情報処理学会研究報告, 95-DBS-104-38, Jul. 1995.
- [12] 高田, 島川, 浅野, 竹垣: 製造管理データベースにおける能動機構の利用とビュー提供機能, 情報処理学会研究報告, 95-DBS-104-32, 1995年7月.