

## FA/CIMにおける分散制御監視システム構築の技術的要件と その具現化についての考察

中野 宣政\*、 渡辺 尚\*\*、 水野 忠則\*\*

\*三菱電機(株)、 \*\*静岡大学

FA分野においても、ダウンサイジングとネットワークを介しての高度な分散処理を、その制御監視システムへ適用することが始りつつある。本稿はFAにおける分散処理システム構築の現状と今後の普及のための解決すべき技術的要件をそのシステム階層毎に述べ、さらにそれらの具現化のための基本的に共通なプロバイダー特性としてあげられる、ネットワーク、各種データ処理プロセスに関するタイムクリティカルなアーキテクチャーの具現化のため、タイムクリティカルトラフィック量の推定に関し考察し、タイムクリティカル通信における特性としてのタイムウインドウ値の関数となることを述べる。

### はじめに

FA (Factory Automation) なる語の意味するところはファジーであり、広義にはいわゆる CIM (Computer Integrated Manufacturing) と重なるし、狭義には工場における一つの工作ラインの自動化まで意味が限定され使われる場合もある。一般的にはFAといった場合、まずPA (Process Automation)、OA (Office Automation) なる言葉との住み分けがある。

従ってFAとは、機械加工/組立産業における、個別部品製造の自動化を指すのが(我が国では)普通であり、ここでもその範疇で使用している。(但し従来に増して、OA、PAとFAは、それらを実現するための要素技術(例えばLAN)としてオーバーラップしてきているし、また、CIMを目指す意味で当然ではあるが、現場におけ

る構築においては、FAとOAは一体化の度が増しているしことは否めない)

FAにおける分散処理は、まだ本格的な普及には至っていない。分散処理システムの特性をANSA Reference Manualでは、分離(Seperation)と透過(Transparency)にある[1]とし、また、その最大の特性としての位置透過性に関して、リモートログイン、ファイル転送など、ノードを意識して明示的に行うレベル0と、特定の共有資源への位置独立のアクセスを提供するサーバプロセスと、ユーザと対話しユーザに代って共有データにアクセスするクライアントプロセスとを用いてアプリケーションが完全な分散処理システムとして構築されるレベル1と、更に進んでサーバがデータやハードウェア資源を共有するための汎用的なネットワークワイドなサービスを提供し、アプ

---

A Consideration for the Realization of the Requirements of the Architecture  
for the Distributed Control and Monitoring System in the FA/CIM

Nobumasa Nakano\*, Takashi Watanabe\*\*, Tadanori Mizuno\*\*

\*Mitsubishi Electric \*\*Shizuoka University

リケーションプログラムから、マルチコンピュータ環境を隠蔽するレベル2に分類している[2]。FAにおける分散処理の現状は、大部分が上記における分離システムの域にあり、透過性などの分散の特性を備えていない。(この種の分離システムを、分散システムにかけて、分担システムとも言う)しかしながら、近來のOAにおけるクライアントサーバコンピューティングの浸透、一部FA用国際標準ベースのLAN、MAPの導入などにより、上記分類による、レベル1の分散処理にあたるシステムの導入、実用が始まっている。更には、FAにおける本格的な分散処理であるレベル2を目指したRODS (Resource Oriented Distributed System)等のシステム開発も行われている[3]。また、分散処理にまつわるリアルタイム性に関し、所定の処理時間以内でのトランザクションという観点から捉えて、それをタイムクリティカル特性としてネットワークアーキテクチャーとして開発標準化する動きが、ISO/TC184 (産業オートメーション)、ISO/IEC/JTC1/SC21の場で始まっている[4]。本稿では、始めに、FAにおける分散処理を概観し、ついで以下について述べる。

①セルレベルにおける一般的な解アーキテクチャーとしてのクライアントサーバシステムについて。(特に、FA用国際標準LAN、MAPにおけるクライアントサーバシステム、および、従来のOA系エリアレベルコンピュータをデータベースサーバとして使用するFAコントローラとの連携システムについて)

②FAにおけるセルレベルコンピューティ

と課題

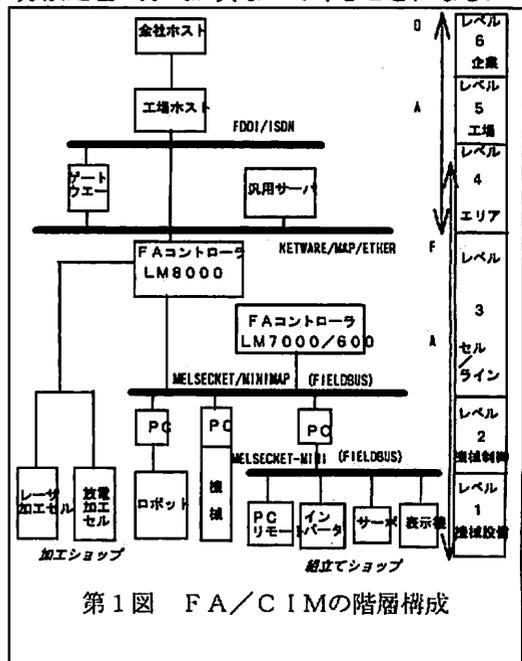
(機械制御レベルにお分散処理対応のネットワークサポート機能としてポピュラーなPC (Programable Controller)による共用メモリーシステムの現状と今後の統合環境への対応について)

③FAにおけるセルレベルコンピューティングへの応用を目指したリソース分散管理/ネットワーク透過型新分散処理システムの開発例について

④ ①～③に述べる各レベル対応分散処理の共通な技術ベースとなる、タイムクリティカルな特性についてその要求仕様と技術課題

### 1. FAにおける分散処理の概観

第1図にCIMの階層モデルを示す。各階層に対応して、その処理、要求される最低限度の応答性が異なるため、採用される分散処理の方式が異なってくることになる。



第1図 FA/CIMの階層構成

先に述べたごとくFAとしての守備範囲は、第1図に示すごとくエリアレベル以下

である。エリアレベルコンピューティングは主に、O A系のオフィスコンピュータが使われているケースが多く、また近来は更にそれにエンジニアリング系のワークステーションが加わってきている。

### (1) エリアコンピュータ、F Aコントローラによるクライアントサーバシステム

これら従来系の工場における工程スケジューリング、進捗管理、部品管理等をバッチ的に処理しているいわゆる情報処理装置と、リアルタイムに物流、加工組立て制御を担当するセルコントローラ以降のF Aコントローラをネットワーク接続し、これら情報処理系のオフコン等をF Aコントローラがクライアントとなり、そのデータベースサーバ、工程計画等の処理サーバとして使用する、折衷システムが使用される様になってきている。

### (2) MAP (MMS) によるセル／機械制御レベルのクライアントサーバシステム

F Aにおいても接続用ネットワークとしてはイーサネット系・TCP/IPがデファクトとして使われている（特にワークステーションを使用するCAD/CAMでは一般的）が、F Aにおける国際標準化活動の成果としてのMAP (Manufacturing Automatic Protocol)及び、そのアプリケーションレイヤーに採用された、クライアントサーバアーキテクチャーを基本モデルとするMMS (Manufacturing Message Specification)が最近F A用LANとしてマルチベンダー接続、F A用アプリケーションのポータビリティ等を狙いとして使用されるようになった。同MMSの拡充

は進んでおり、いわゆるRPC (Remote Procedure Call)に相当するData Exchangeプロトコルや、サーバオブジェクトに対するクライアントアクセス権をチェックするConditioned Service等が追加され、本格的な分散コンピューティングを目指していることが判る。

### (3) 機械制御レベルコントローラにおける分散制御

一方セルレベル未満の機械制御レベルにおいては、リアルタイム制御が基本であるが、分野対応でその分散制御にたいする要件が異なり、従ってその実現アーキテクチャーも異なってくる。

#### (a) PC (Programmable Controller)を使用した機械制御レベル：共用メモリーによる実現

PC (Programable Controller)アプリケーションにおいては、各PC間を接続するネットワークのサポートする、サイクリックリフレッシュ機能によるいわゆる共用メモリーを利用した、分散アプリケーション構築が一般的である。これは各ノードPCの特定のバッファメモリーの内容のコピーを他の各ノード、及びノード内アプリケーションエンティティー間で持合うことにより、明示的な通信のイメージ無しにお互いのノードアプリケーションエンティティーが相手ノード（複数）とデータを共有しつつ、かつほぼノード独立に、処理を並行に実行できる特長を有する。

#### (b) 機械加工セルの分散システム

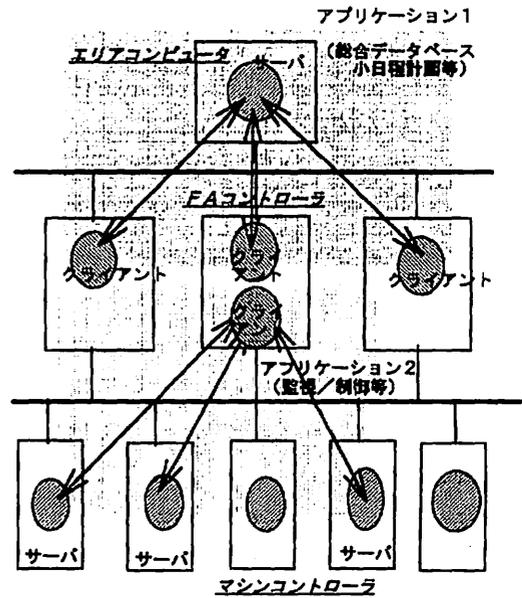
機械加工セルは、PCに比べて比較的リアルタイムな要求が緩やかではあるが、但し扱うデータ量は桁違いに多く、レスポンスも然ることながら、スループットが重

視される特性を有する。このような機械加工セルにおける分散システムへのニーズとしては、ノード透過によるアプリケーション構築の容易性追求とともに、システムの規模の違いに同一のソフトウェアアーキテクチャーで応えられるという、いわゆるスケラブルな特性に対する要求が強い。このような機械加工システム対応の分散システムとしては、クライアントの要求に応じて、負荷の軽いプロセッサ上に所定のサーバをダイナミックに生成し処理する、リソース/負荷の分散/管理システムが有望であり、先にあげたRODSの提案とその試作がある。

## 2. エリアコンピュータ、FAコントローラによるクライアントサーバシステム

第2図にエリアコンピュータの機能として、各種在庫等データベース、及び工程計画作成処理プロセス等のサーバとし、セルコントローラの機能をクライアントとするアプリケーションシステム構成を示す。同図では、アプリケーション1以外に、セルコントローラの役割をクライアントとし、機械制御装置サーバとするアプリケーション2についても示されている。アプリケーション1に示されるようなシステムは、従来のトップダウン階層構成システムとは異なり、セルコントローラをシステムの中核に置き、タイミング等のリアルタイム制御は総てリアルタイムな処理を得意とするセルコントローラに任せている。このようなシステムの構築上問題となるのは、データベース等のレスポンスの見積りができないケースである。見積りができなければ、ユーザの要求に対しそれが可能なのかは

やってみなければ判らない。



第2図 エリア/セル/機械制御におけるクライアント・サーバコンピューティング[5]

このようなケースは、近来出来合のデータベースを購入し、これをファイルとして使用する場合に起きる。時間がかかりすぎて、使用をあきらめたり、または、従来の伝統的な手法に戻り、応用プロセス対応の括りつけのファイルを急遽設計する羽目になったりする。ここで言えることは、特にデータベース処理を含むコンピューティングに関し、一般的に処理時間の見積りを行うための手法が求められている、ということである。それは、データベースの機能としてデータベースそのものに組込まれてもいいし、また、設計/計画時点に於いて、机上でパラメータ設計してもよい。最悪でも、一般的な(但し、単に比較のためだけ

ではなく、ユーザにとって自分の応用対応でのパフォーマンスが類推できる)ベンチマークテスト手法であっても良い。

### 3. MAP (MMS) におけるクライアントサーバ処理

第2図におけるアプリケーション2においては、セルコントローラ内のクライアントプロセスから、機械制御装置内のサーバプロセスをアクセスしている。

MAPの応用層として採用された前述MMSは、このようなクライアントサーバモデルに基づくサービス/プロトコルを有する。サーバとしてはPC、NC (Numerical Controller)、ロボットコントローラ、プロセスコントローラ内の、VMD (Virtual Manufacturing Device)としてのサービスプロバイダとして実装される。

MMSサービスとしては、その大部分が、ピアピア間での変数/ファイル読書き、(制御装置としての作動)プログラムのドメイン管理、セマフォ処理、等であるが、特殊なサービスとして、サーバ側からクライアント側へクライアントの勧誘動作無しに実行される状況(状態)報告サービスがある。(もともと、これもあらかじめクライアントからサーバへ、前もって依頼が出されるのであるが)このサービスをマルチキャストで複数のクライアントへ送出するごとく実装したケースもあるが、あくまでもMMSはピアピア接続が基本となっている。

MMSの分散システム構築における課題としては、

①分散システム対応のよりジェネリックなコマンドが必要

②空間コヒーレンシー、またその実現手

段としての時間コヒーレンシー等、分散制御にかかせないネットワーク特性の拡充にある、と思われる。

①に関しては、MMSは、それがFA機械制御—セルコントローラ間アプリケーションを部分的にでもあれ包含するサービスであるため、そのサービス自体がセマンティクスを持ち、それを素直に使う分は良いが、例えば、データベースアクセスのSQL (Structured Query Language)にマッピングする等、現在MMSサービスとして無い機能を無理に持たせようとする可笑しいことになる。(但し実際この種の無理なマッピングは続々試みられているのが実態である)従って、これを打開するにはより応用範囲の広いいわゆるジェネリックなサービスを追加することである。幸い、MMSの標準化母体は、RPC (remote Procedure Call) 的なサービス機能として、データ交換サービス (Data Exchange) など、MMSとしてこの種のジェネリックなサービスをメニューに取込みつつある。

②については、言わば時間制限付のネットワークキング (Time Critical Communication Architecture) をベースとするサービスであり、これについては、大幅なアーキテクチャーからの見直しを迫られることになろう。表1にMAPと他の(TCCAベースのサービスを希求する)各種ネットワークのTCCA機能に関する分析結果を示す。

Features	MAP	Mini-MAP	TCCA(S)	Fieldbus
Architecture	OSI (7 layers)	Reduced architecture stack (3 layers)	OSI (7 layers) or reduced stack architecture	Reduced stack architecture (3 layers)
Application	MMS, FTAM, RDA, VT, X-Window, etc.	MMS	MMS like services	FBD etc. (under the discussion)
Time criticality	Deterministic MAC	Faster than MAP Enhanced performance architecture  Deterministic MAC	Time window Timely service Time coherency Time oriented system Management	Dead end scheduling Time recognition support  Deterministic MAC, LLC, AP
Area to be Applied	Backbone/Area/Cell Net	Cell/Station Net	Cell/Station Net	Station/Component Net
Characteristic	OSI Based FA Oriented	Faster/Cheaper version of MAP Segment of MAP	OSI enhanced real time communication (requirements)	Remote In/Out Distributed Control
Document	MAP v. 3.0 1993 release	Included in MAP doc.	ISO DTR12178 (requirements)	IEC65-C007 etc.

表1. Comparison of the features of TCCA(S) with other related Networks  
 "Time Critical Communication Architecture in Factory Automation"よりの抜粋

#### 4. 共用メモリー方式による分散処理へのアプローチ

製鉄所の圧延ライン等、1台のコントローラは全体制御の一部を受持ち、複数台のコントローラによる分散型の制御を行う。水平分散した各ステーションは、サイクリックメモリーなるネットワーク共用メモリーを持ち、空間内の特定エリアを自分の送信域に割り当てている。この送信領域のデータをメモリアドレスデータとともにブロードキャストしこれを受信したステーションは自分のサイクリックメモリー内の同一エリアにデータを展開する。

更にサイクリック転送用のフレームは F D D I (Fiber Distributed Data Inter-

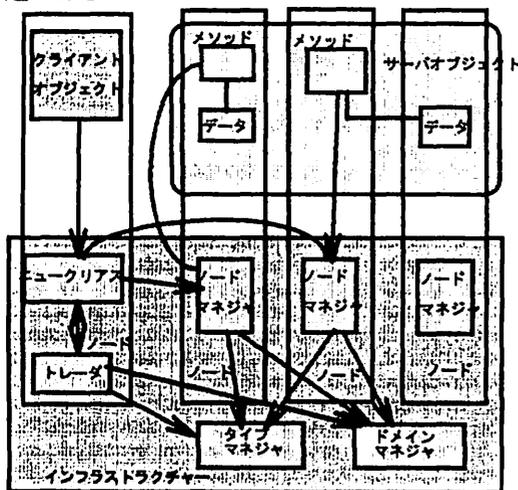
face)の同期転送を固定的に割り当て、トークン獲得毎に送信領域のデータをフレーム化して送信する。

サイクリック転送方式の問題点は、共用メモリーの空間一貫性 (コヒーレンシー) を保持するため、転送対象データの有無にかかわらず、相当の高頻度でもって、全バッファの一括転送を行う方式にあり、この方式では与えられた有限の帯域を言わば浪費して居るともいえる点である。例えば、タイムテーブルを持つ交通機関のようなもので、客の有無にかかわらず、時間が来たら発車しなければならない。

上記の改良のためには、転送バッファへの書き込みを待つ (又は検出して) 必要

最小限のデータ量の転送を行うことであろう（これは突詰めるとメッセージ転送に帰着するが）、その場合に、果してどれだけの転送帯域巾を用意しておけばよいのであろうか？これらに関する考察は、第6章にて行う。

いずれにせよ共用メモリーの維持、即ちその空間コヒーレンシー特性を保持することは分散処理の基本特性として必要であり、例えば、数個の簡潔なプリミティブと、サービスより成るリングモデル[6]など、他の共用メモリーモデルに於いても、そのスマートな実装のための解決すべき重要な課題である。



第3図 RODS (Resource Oriented Distributed System)

## 5. 機械加工向け分散システム

一般の機械加工においては、一部トランスファー加工ライン等のタクトタイムの短い作業向けを除いて、一般に加工時間が長い為、共用メモリーによらず、メッセージ転送によるオブジェクト間の並行処理がモデルとして選ばれているケースが多い。この分野における分散処理の歴史は古く、

NC装置とAPT (Automatically Programmed Tool)等のプロセッサを実装したミニコンピュータとによるDNC (Direct NC) システムがその草分けともいえるであろう。その後NC装置は強力なμプロセッサを搭載したCNC (Computerized Numerical Controller)に進化し、そのため、DNC (Direct NC)もDNC (Distributed NC)へと、その内容、意味するところの変遷してきた。ただしその分散システムの内容としては、先に述べた分散の定義からすれば真の分散ではなく、ノード、ネットワークをアプリケーションとして使い分けていくいわゆる分組システムであるといえる。

この種のシステムにおいても、その目標はCIM構築を目指して、年々高度になってきており、特に工機メカは、手離れの良いシステム作りをめざし、一つのほぼ独立したセル一つで、スケールの大小を吸収し、標準的なシステム作りをめざし、CAD/CAMは無論のこと、生産管理、在庫管理、工程スケジューリングからマシンモニタリングまでその中に取込み、システムとしての自立性を高めるとともに、コストパフォーマンスを追求する傾向にある。このようなシステムを必要最小限のH/Wリソースで持ってスケラブルに構築するためには、本格的なリアルタイム分散処理システムを可能とする技術・アーキテクチャーを導入する必要がある。

第3図に先に述べたクライアントの要求に応じて、負荷の軽いプロセッサ上に所定のサーバをダイナミックに生成し処理するリソース/負荷の分散/管理システムの提案とその試作例を示す。

## 6. TCCAの構築に関する考察

以上、各階層対応の分散システム構築について、その現状と問題点について述べた。ここではFA分野の応用において必須のリアルタイム性を実現するため、システムが備えるべき特性の一つとしての、タイムクリティカル性について述べ、その実現に関しネットワークの帯域算定について、そのタイムウインドウとの関連について考察する。

TCCAは、MAPとフィールドバスの中間を埋めるネットワークとして、現在ISO/TC184/SC5/WG2にて審議中であり、その要求仕様を取りまとめられ、ISOテクニカルレポートタイプⅢ (ISO/DTR12178)として発行されることになっている[7]。TCCAとは、その定義をDTR12178より援用する。

- ・応用プロセス間のメッセージ送受所用時間が、所定時間（タイムウインドウ）以内に行われることが保証される通信をタイムクリティカル通信と言う。
- ・所用時間の絶対的値は（標準化として）云々しない。
- ・対象システムは、主にディスクリート部品製造分野における、ダイナミックシーケンシングを主体とするシステム（負荷の変動ローディングを前提）、密結合システム。
- ・タイムクリティカルとノン・タイムクリティカルの同一ネットワーク上の混在、OSIを前提とする、等。

以下、第4章に述べた、転送における**帯域見積り**に関し考察する。  
前提条件として、ネットワークの転送能

力：Aをあらかじめ知り、それを各アプリケーションエンティティ間でクライアントプロセスから申請されるアソシエーション対応サービス請負量へ割りあてていく方式を考える。この場合、単に申請量としてそのまま受取るのではなく、同時に申告される、タイムウインドウ値と、実際にその転送に要する時間から、サービス請負量として以下の如く換算を行うものとする。

●転送能力A；

$$A = P_s * N_p$$

$$(KB/T_\tau)$$

$P_s$ ：MAXパケット当りデータ転送量

$$(KB/パケット)$$

$N_p$ ：単位時間 $T_\tau$ 当たりMAXパケット数

$$(パケット/T_\tau)$$

●サービス請負量 $S_c$ ；

$$S_c := N_m * O_c | W_w$$

$N_m$ ：MAXパケット換算データ量（パケット）

$O_c$ ：サービス要求発生頻度  
(1/ $T_\tau$ )

$W_w$ ：ウインドウ幅  
( $T_\tau$ )

●換算サービス請負量 $S_c'$

ウインドウ幅に対する転送余裕度を

$$r := (W_w - D_e) / T_\tau$$

但し、

$D_e$ ：転送予測ディレイ値  
( $T_\tau$ )

とすると、例えば、同一アソシエーションで、転送能力の倍のトラフィックが申請されたとしても、もしその転送余裕度1以上

であれば、 $2T_c$ 時間にわたって転送することができ、

$$S_c' = Nm \times Oc / (1 + r)$$

と表されることになる。当然ながら  $r$  が 2 なら 3 倍の  $T_c$  時間にわたり転送することができる。このようにしてトータル請負量は、各アソシエーション対応換算  $S_c'$  (上式) を加算したもの;  $\sum S_c'$  になるのは明らかである。

以上の如く、要求タイムウインドウと実際の転送所要時間の差が大きいほど、それに合わせてサービス請負量は薄められ、換算請負量は小さくなり、それだけ多重度を増すことができることとなる。

第 2 表に、従来のサイクリック転送を主体とするネットワークを、TCCA より新規に構築する場合について考察したものを示す。

終りに

以上、FA 分野における分散処理の現状と、その問題点、特にタイムクリティカル特性の付与について重点的に述べた。また、タイムクリティカルアーキテクチャーにおける帯域管理としての、申請値に対するウインドウ巾による逓減特性を有する換算方式について考察した。結果として、その余裕が増すほど帯域所要量が逓減されることが判った。

機 能	T C C 見 直 し 機 能	ア ソ シ エ ー シ ョ ン	コ ネ ク シ ョ ン	サ ー ビ ス 内 容
サイクリック転送	バッファ・バッファ間くり返し転送、アソシエーション解消まで動作を継続する。	対プロバイダー、対アプリケーションエンティティ; オンライン確立、バッファサイズ定義、(TC) QoS; 転送周期、W幅	2つの方式: プロバイダ内確認応答なし、有り	指定されたバッファ間の転送を、所定の周期、又はバッファ内書込みを検知して、所定のW幅以内に行う。
ブロック間転送	バッファ間メッセージ転送、イベント転送(一回きり)	対プロバイダー、対アプリケーションエンティティ; オンライン確立、バッファサイズ定義、(TC) QoS; W幅	プロバイダー間、およびユーザアプリケーションエンティティ間確認応答有り。	指定されたバッファ間の転送を所定のW幅内に行う。確認応答までのW幅も有り。
変数読取り・書込み	メッセージ転送、イベント転送、アソシエーション解消までくり返しイベント発生を都度動作。	対プロバイダー、対アプリケーションエンティティ; オンライン確立、対象変数定義、(TC) QoS; W幅	プロバイダー間、およびユーザアプリケーションエンティティ間確認応答あり。	指定された変数内容の読書きを所定W幅にて行う。確認応答までのW幅指定もある。読書き指示で何度でも繰返す。
NTC転送機能 ファイル転送など	NTC転送	対プロバイダー-NTC宣言 ピア-アプリケーションエンティティ間折衝 (TC) QoS; なし	コネクション、コネクションレス	通常機能としてのメッセージ転送機能、TC仕様のサービスの合間に実施されるサービス。
モニタリング機能 コンフィギュレーションモニタ 異常モニター	全利用可能帯域モニタリング アソシエーション対応使用帯域モニタリング 異常モニタリング	アソシエーション設定時モニターデータを元にアソシエーションの許容制御実施		帯域管理、トラフィック量監視、QoSサービス実行監視、プロバイダーエラー監視
転送ディレイ計算式の提供	オンライン転送ディレイ予測	W幅内にディレイを押しこめるかの判定を行う。	プロバイダーとしての性能諸元から算定	サービスの実行所要時間の算出を行う。

表 2. TCC サービスを実現するための機能検討

## 引用文献

- [1] 水野忠則監訳、"分散システムコンセプトとデザイン"、電気書院、pp. 13
- [2] 同、pp. 50-52
- [3] 曾我、谷林、長田、今井、佐藤、中川路、水野、リソース指向分散環境RODSの提案と実現、情報処理学会論文誌、Vol. 34, No. 6, pp. 1463-1467(1993).
- [4] N.Nakano, "Time Critical Communication Architecture in Factory Automation", JSPE-IFIP WG5.3 Workshop DIISM'93 Proceedings, November, 1993
- [5] 中野、井下、小型電子部品組立におけるCIMとMAPの応用例、情報処理、Vol. 33, No. 3, 情報処理学会
- [6] IEEE COMPUTER 1986/8 (Linda and Friend)
- [7] User requirements for systems supporting time critical communications, ISO /IEC DTR12178 (ISO/TC184/ SC5/ N350)