

制御用イントラネットシステムを支える高速・高信頼プラットフォーム

High-Performance, High-Reliability Platform Supporting Intranet System for Supervisory Control System

外山 春彦 TOYAMA Haruhiko	藤原 睦 FUJIHARA Mutsumi	松本 茂 MATSUMOTO Shigeru	橋本 圭介 HASHIMOTO Keisuke	星加 修 HOSHIKA Osamu	森 良哉 MORI Ryoya
渡壁 健 WATAKABE Takeshi	前田 猛 MAEDA Takeshi	堤竹 秀行 TSUTSUMITAKE Hideyuki	大須賀 昭彦 OHSUGA Akihiko	武脇 敏光 TAKEWAKI Toshimitsu	

情報系のシステムは、インターネット技術を企業内システムに適用し、イントラネット化が進んでいる。一方、制御系システムでもイントラネットの有効性を享受したいという要望はあるものの、制御システムを単にイントラネット化するだけでは、制御系に求められる高速性および高信頼性の要件を満足することができない。また、組み込み機器に汎(はん)用のイントラネット技術を適用するようなシステム構築技術も確立されていないのが現状である。

当社は、イントラネット技術の標準性を堅持しつつ、制御システムに必須(す)の高速・高信頼性を実現し、組み込み機器を含めたイントラネットシステムを構築するためのプラットフォームを開発した。このプラットフォームは、さまざまな産業分野の制御システムに適用可能である。

Information systems are transforming intranets into enterprise fields. In the sphere of control systems as well, demand has arisen for the utilization of intranets. However, the high performance and high reliability essential for a control system is not realized simply by utilizing an intranet. Moreover, methods of building an intranet system including embedded equipment have not yet been fully established.

We have developed a platform which realizes the high performance and high reliability indispensable for a control system while conforming to the standards of intranet technology. Furthermore, this platform allows an intranet system to be created that includes embedded equipment. This platform can be applied to control systems in various industrial fields.

プラットフォーム開発の背景と概要

Background and Summary of Platform Development

次世代の電力系統監視制御・保護システムは、通常のイントラネットをリアルタイム用途に強化するインフラを採用することによって、操作性の統一、プラットフォーム独立、設置場所フリー、遠隔運用保守など、さまざまなメリットを享受できる。このリアルタイムイントラネットを支える高速・高信頼プラットフォームは、当社が誇る、情報通信、ソフトウェア、マルチメディア、制御分野に関連する研究部門を総動員して、全社的な活動として開発したものである。

開発したミドルウェア(MW)は、高速・高信頼放送通信MW、主記憶データ管理MWなど、11パッケージである。これらは電力系統向けだけでなく一般の制御システムへの適用も可能である。以下に、各MWごとに機能概要について述べる。

高速・高信頼放送通信 MW

Efficient and High-Reliability Multicast Communication Middleware

1 まえがき

ネットワークに広く分散配置される装置を統合して監視制御システムを構築するためには、装置間のデータ伝送を効率よく行い、かつその信頼度が高いことが要求される。また、装置間の機能分担の見直しや信頼性向上の観点からの冗長構成にも柔軟に対応する通信形態であることが要求される。コネクションレス型の放送通信(UDP/IP(User Datagram Protocol/Internet Protocol)など)は、これを実現する一手段ではあるが、一般に信頼性に欠けるため、単純なコネクションレス型の放送通信機構では、多重化プロセス間の状態一貫性やイベントの発生順序に応じた解析を行うことはできない。

今回、当社はこれを解決するためにコネクションレス型の放送通信を用いながらも伝送の抜けなどの障害を検出した際に、該当メッセージを特定し再送処理を行うことで伝送メッセージの順序性を保証する通信MWを開発した。

2 高信頼放送通信 MW の機能と特長

高速・高信頼放送通信 MW として図1に示すように、プラットフォームや通信形態に応じて次の三つを開発した。

2.1 ECJ™(Event Centric for Java^(注1))マルチキャスト通信 MW

ECJ™マルチキャスト通信 MW は、ネットワーク上に分散配置されたJavaアプリケーションプログラム(以下、アプリケーションと略記)間で、小サイズだが高速高信頼なメッセージのマルチキャストによる情報交換を可能とする通信 MW である。ECJ™はJavaによる非同期イベント配送フレームワークであり、ECJ™の一つの通信プロトコルとして高信頼マルチキャスト機構を実現した。これにより、Java VM(Virtual Machine)上で動作する制御システムのアプリケーション間でメッセージ情報を効率的に交換できる。

2.2 高信頼マルチキャスト通信(HRMC: High Reliable Multicast Communication)MW

高信頼マルチキャスト通信 MW は、プログラミング言語のC/C++言語で記述する処理スピードを重視したアプリケーション間で、マルチキャストによる高速・高信頼な通信を可能とする MW である。HRMC MW は、オブジェクト指向による高信頼分散システム構築支援 MW であるが、今回その通信機構を WindowsNT^{®(注2)}上に実現した。これにより既存プログラム(C言語で実装されていることが多い)も容易にマルチキャストが利用可能となり、現行システムからの移行が容易となる。さらに、HRMC MW は、物理的なネットワーク構成に依存しない制御システム内マルチキャスト通信を実現したり、制御システムにおけるオンライン系と訓練系のように、それぞれ独立し

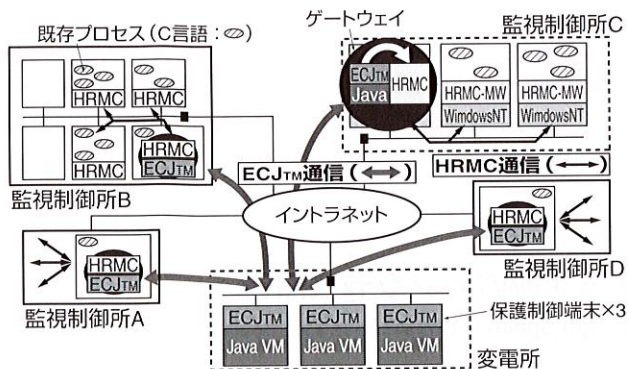


図1. 高速高信頼放送通信 MW の適用 変電所と制御所間の通信に ECJ™ を、制御所内計算機間の通信に HRMC を適用した例を示す。

Example of application of high-reliability multicast communication middleware

(注1) Javaならびにその他のJavaを含む商標は、米国Sun Microsystems社の商標。

(注2) WindowsNT は、Microsoft 社の商標。

たマルチキャスト通信も実現することができる。

2.3 高信頼放送通信 MW 間ゲートウェイ

上記二つの ECJ™マルチキャスト通信 MW と HRMC MW 間のメッセージ変換を実現するゲートウェイプログラムを開発した。

3 成果

この通信 MW 群により、メッセージの宛先プロセスや計算機の位置や多重度(台数)を意識することなく、メッセージの到達順序が保障されたマルチキャスト通信が提供される。したがって、システム稼働中に、次のような変更が発生しても、アプリケーションに影響を与えず、かつメッセージの宛先数に応じた通信負荷の増加を伴わずに処理を継続できる。

- (1) システム拡張による計算機台数の変更
- (2) 計算機間の負荷均衡のためのプロセス配置の変更
- (3) ワークグループへのプロセスの追加や削除に伴うマルチキャスト通信の宛先変更

このような特長により、例えばプロセス単位の多重化によるバックアップを行う際も、計算機の障害などによってプロセスの多重度が変化したり、異なる位置の正常な計算機上にバックアップしても、プログラムには変更は生じない。さらに、通常時には待機系計算機を用意しなくても、正常な全計算機群にプロセス群を分散配置し、計算機資源を有効に利用するなど効率的な処理も可能である。

4 あとがき—電力系統システムへの適用

これらの MW 群はC/C++言語オブジェクトとJava言語オブジェクト間の連携を可能とする。したがって、従来のC言語によるシステムと、これからのオブジェクト指向で構築されたシステムを統合した電力系統システムの構築が実現できる。(外山)

主記憶データ管理 MW

Main-Memory-Data Management Middleware

1 まえがき

リアルタイムの監視・制御システムでは、大量のデータを高速に検索・更新する必要があり、データ管理機能(データベース、ファイルシステムなど)の性能がシステムの性能を決定する。データ管理機能の性能向上の決め手とし

て、主記憶上にすべてのデータを展開することが考えられこれを MW として実現した。

2 主記憶データ管理 MW の機能と特長

昨今の主記憶の大容量化により、現在のハードウェア環境でも全データの主記憶常駐は可能である。しかし、従来のディスクを前提にしたデータ管理を単に主記憶にキャッシングするだけでは、リアルタイムアプリケーションが必要とする性能を達成できない。その理由として、アプリケーションとデータ管理間での大量のデータ転送(コピー)操作が避けられないこと、ディスクを前提にしたアルゴリズムを主記憶上で実行してもそれほど性能が向上しないこと、単純に常駐プロセスの主記憶にデータを保持してもネットワーク環境での信頼性の高いデータ共有は容易でないことなどが挙げられる。これらの問題点を解決するために主記憶データ管理 MW (構造を図2に示す)は以下の三つの特長をもつ。

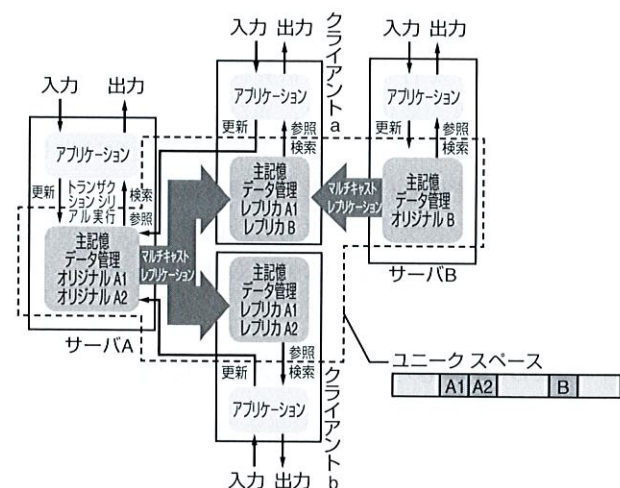


図2. 主記憶データ管理の構成 サーバのオリジナルデータをクライアントマシンにマルチキャストレプリケーションし全体でユニークスペースを構成する。

Configuration of RAM database middleware

2.1 高性能データ管理機能

主記憶データ管理 MW では、インデックス構造としてソート表を採用し、主記憶上での効率的実装が可能を一連の検索・更新機能を基本機能としてライブラリの形で提供する。さらに、そのインデックス構造を使用して実現される拡張機能として、二次元図形データ検索ライブラリ、経路データ検索ライブラリを提供する。これにより大量なデータに対する高速な検索・更新手段を提供する。

(注3) 過去のデータに対して変化分のデータを付け加え、最新のデータに修正すること。

2.2 トランザクション管理機能

従来のデータ管理システム(例えばデータベース)はデータをディスクに格納することを前提にしているため、データ操作にはI/O(入出力)による中断が必ず伴うため、システムのスループット(単位時間内の処理能力)を向上させるにはトランザクション^(注3)の並列化が必須であった。これに対し主記憶を前提にしたデータ管理システムの場合、各データ操作およびトランザクションを並列に実行する必要性はそれほど高くない。CPUが1個しかなければ、並列化は、それに伴うオーバーヘッドのために、シリアルに実行した場合よりもスループットが低下する。さらに、並列化には、デッドロックの回避などでアプリケーション開発者の負荷を増大させるという問題点もある。主記憶データ管理 MW のトランザクション処理においては、シリアルな実行を基本とし、トランザクション間の並列化よりもトランザクション内の並列化を図ることを優先している。

2.3 レプリケーション管理機能

ネットワーク環境ではデータが分散配置されることは避けられない。通信による時間遅れおよび大量のデータ転送によるネットワークの負荷増大を避けるために、データの効率的なレプリケーション(機能・動作のコピー)は必須の技術である。主記憶データ管理 MW のレプリケーション機能は、データ設計者にはオリジナル/レプリカ(データのコピー)の配置を設定する手段を与えると同時に、各データ利用者に対してはローカルデータとしてアクセスする手段を提供するものである。このレプリケーション機能を前提にして、システム設計者はデータの最適配置を指定することができ、また、アプリケーションを変更することなくデータ配置のチューニングを行うことができる。

3 あとがき—電力システムシステムへの適用

主記憶データ管理 MW はネットワークに分散配置される計算機の主記憶を統合して高速に利用することを可能とする。電力システムシステムにおいても、その分散高速処理性能の根幹を成す MW となる。(藤原)

高速WWWアクセスMW

High-Speed WWW Access Middleware

1 まえがき

監視・制御業務においては、ユーザーアクションに対する高速なレスポンスが要求される。また、監視情報の表示

は大量のデータを扱う場合が多い。このような特徴をもつ業務にイントラネットシステムを利用する場合、ユーザーアクションに対し WWW(World Wide Web)サーバからデータをダウンロードし表示するのでは要求性能を満たさないことが予想される。当社は頻繁に利用されるデータをクライアントマシン上に複製しておくことにより、高速な WWW アクセスを実現する MW を開発した。

2 高速 WWW アクセス MW の機能と特長

高速 WWW アクセス MW のシステム構成を図3に示す。この MW は次のような機能と特長をもっている。

2.1 Proxy 機能

つねに最新状態を保持するローカルレプリカデータを利用する以下の2種類の Proxy 機能によって、WWW コンテンツ(ソフトウェアの中身や内容)だけでなく Java アプレットからのテーブルアクセスも高速に行える。

- (1) HTTP(HyperText Transfer Protocol) Push Proxy
つねに複製される特定コンテンツと、リクエストに応じて一時的に複製される2種類の複製方法をサポートし、WWW ブラウザ^(注4)からの要求にレプリカコンテンツを返却する。
- (2) データテーブル Proxy
Java からテーブルアクセス時、ローカルメモリ上のレプリカテーブルとサーバ上のオリジナルテーブルを区別せずに利用可能とする。

2.2 高速表示部品

以下の高速表示可能なベクトルデータ表示部と Proxy の連携により WWW コンテンツおよび Java アプレットのプログラム上は、高速化の仕組みの有無を意識しなくてよ

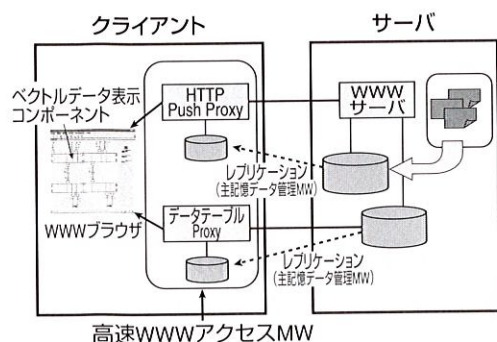


図3. 高速 WWW アクセス MW の構成 サーバ上の一部データをクライアントに複製し、2種類の Proxy がブラウザからの要求によってアクセス先を切り換える。

Configuration of high-speed WWW access middleware

(注4) WWW のサイトを閲覧、利用するためのソフトウェア。

い。

- (1) 高速なベクトルデータ表示機能 矩(く)形座標領域検索, 近傍領域検索, 詳細度指定検索などを高速実行する。
- (2) データテーブル Proxy との連携 クライアント上のレプリカテーブルの有無により表示コンポーネントを自動判別し、レプリカへの直接アクセスによる高速表示を実現する。

図3中にあるように、クライアントマシンへのデータレプリケーションは主記憶データ管理MWを利用している。

3 あとがき—電力システムシステムへの適用

インターネットの3層モデルの構造を維持したままで監視制御システム用のコンテンツを高速で表示できる仕組みを開発した。監視・制御業務に求められる大量のデータ表示要求にも、すばやいレスポンスでブラウザ上に表示を行うことが可能となっている。また、同一のコンテンツを高速化の仕掛けのない、通常のブラウザからでもアクセスすることが可能となっている。この MW は電力システムでは監視表示機能の中心に位置づけられる MW である。(松本)

セキュリティ管理 MW

Security Management Middleware

1 まえがき

イントラネットシステムにおいては、セキュリティの確保が重要である。特に、制御システムではアクセス制御が正しく行われないと、制御権限のないユーザーが制御するという事態に発展してしまう。しかし、ネットワーク分散環境においてアクセス制御を行う必要のあるすべての WWW コンテンツに正しくアクセス権を設定するのは、非常に手間のかかる作業である。当社はこれを解決するため、アクセス権の設定を容易にする MW を開発した。

2 セキュリティ管理 MW の機能と特長

アクセス権設定作業の負荷を軽減し、かつ、設定ミスの可能性を減少させるような仕組みである“セキュリティ設定ツール”を開発した。これは図4に示すようなシステム構成をとり、次のような特長をもつ。

- (1) Java アプレットで実装されており、各 WWW サー

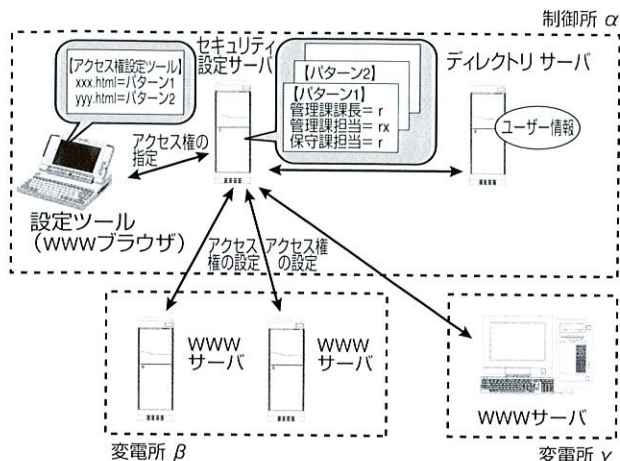


図4. セキュリティ設定ツールの構成 セキュリティ設定サーバが設定パターンを管理し、ブラウザ上で指定したアクセス権情報を対象WWWサーバに設定する。

Configuration of access control setup tool

に対してブラウザ上から設定することができる。

- (2) アクセス権の設定用テンプレート(設定パターン)をいくつか用意し、設定対象コンテンツに対して適切な設定パターンを指定することにより、アクセス権の設定を行う。

さらに、設定に必要なユーザー情報はディレクトリサーバで一元管理しており、ユーザー情報をメンテナンスするためのグラフィカルユーザーインターフェース(GUI)ツールも提供している。

設定パターンは、実際に設定するアクセス権を整理・抽象化して作成する。例えば“管理課長=読取り可、管理課担当=読取り・実行可、保守課担当=読取り可”というように、アクセス権を与えるユーザーおよびグループと与える権限の情報を一まとめにしたものとなる。このようなパターンを複数用意しておくことにより、“コンテンツaにはパターン1、コンテンツbにはパターン2”というように、各コンテンツに対して1アクションで設定できるようになるため、設定が容易になるとともに設定ミスの可能性も減少する。

3 あとがき—成果と電力システムシステムへの適用

膨大なコンテンツをもつ大規模な制御システムにおいて、このMWによってコンテンツのアクセス権を確実に容易に設定できることとなり、アクセス制御技術を実際のシステムに適用することを可能とした。このアクセス制御の仕組みにより、電力システムシステムでは運転員ごとにシステムの使用できる機能を割り当てるなどのサービスを実現することができる。

(橋本)

ネットワーク管理 MW Network Management Middleware

1 まえがき

イントラネット環境では、従来からネットワークの重要性が増している。ネットワークの運用管理が適切でない、障害時にユーザーが不満に思うだけでなく、企業利益そのものに大きな損害を与えてしまうことさえ多くなってきた。当社はネットワーク管理を効率よく行うための機能をDFS(事実上の業界標準)を用いて構築した。

2 ネットワーク管理 MW の機能と特長

ネットワーク管理機能は構成管理機能、障害管理機能および性能管理機能の三つに大別することができる。これらの機能を実現するために業界標準のOpenView^(注5)ネットワークノードマネージャを使用する。OpenViewによるウィンドウ構成例を図5に示す。

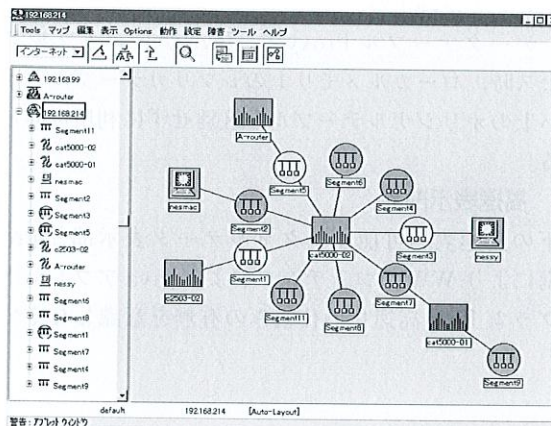


図5. OpenViewのWebインタフェース(Javaベース) JavaベースのWebインタフェースにより、遠隔地からの管理も可能になる。

OpenView Java-based Web interface

- (1) 構成管理機能 現在のイントラネット環境がどのように構築されているかをひと目で把握するための機能であり、OpenView ネットワークノードマネージャのオートディスカバリ機能を活用している。
- (2) 障害管理機能 構成管理機能が自動的に発見してきた構成が正しく動作しているかどうか監視する機能であり、障害の局所化・切分けをできるだけ早く行う

(注5) OpenViewは、Hewlett Packard社の商標で、同社のネットワークシステム管理製品群の総称。

ために利用する。

- (3) 性能管理機能 WWW サーバなどのイントラネットを構成しているサーバの性能やHTTPのトラフィック量(一定時間に流れるデータ量)を測定し、障害を事前に把握したり、将来の設備計画のデータとして活用することを可能とする。

OpenView ネットワーク ノードマネージャは上記のようにイントラネット環境の管理に利用できる一方で、みずからインターネット/イントラネットの技術を活用している。図5に示すようにJava ベースのWeb ユーザインタフェースを基本機能として備えている。これにより、遠隔地からの管理を可能にし、またThin クライアント^(注6)による管理環境を展開でき管理コストを大幅に削減することができる。

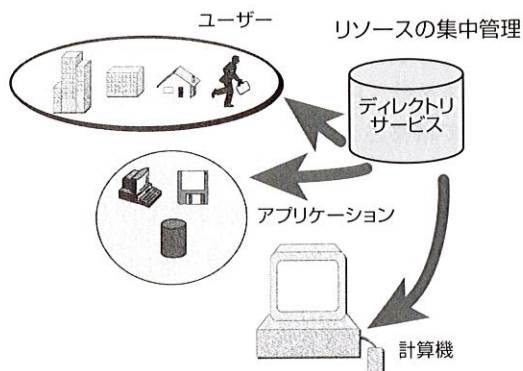


図6. LDAPディレクトリサービス ユーザー、アプリケーション、コンピュータ情報がディレクトリサービスで一元管理できる。

LDAP directory service

3 あとがき—電力システムシステムへの適用

インターネット/イントラネットシステムで標準的に用いられるOpenViewを用いてネットワーク管理MWを構築した。このMWはインターネット技術を利用する電力システムシステムにとっても有効な管理機能となるが、電力システム特有の装置監視情報はMIB(Management Information Base)を拡張することによって実現することができる。
(星加)

2 ディレクトリ サービス MW の機能

ディレクトリサービスは各社から製品化されているが、ディレクトリの業界標準であるLDAP(Lightweight Directory Access Protocol)に準拠した製品を選定し使用する。これにより、LDAPにさえ準拠していれば、ディレクトリサーバが変更になってもアプリケーションの変更なしで利用可能になる。

3 あとがき—電力システムシステムへの適用

ディレクトリ管理は比較的新しい技術であり、今後インターネット、イントラネットシステムのなかでも中心的な機能となっていくと思われる。当社は、電力システムシステムのプログラムおよびデータなどのリソース情報ならびにシステムを使用する人員の情報などをディレクトリサービスMW管理下に置くこととし、そのためのディレクトリ構造を決定した。ディレクトリ管理は、インターネット技術を利用する電力システムにとっても、広域に分散するリソースおよび人員の集中管理などの目的から今後重要な技術となることが予想される。
(星加)

ディレクトリ サービス MW

Directory Service Middleware

1 まえがき

小さなシステムの場合、個々のアプリケーションやMWなどがそれぞれに必要な資源を管理しても、そのメンテナンスはそれほど複雑にはならない。しかし、大規模なシステムでは図6に示すように、さまざまなMWやアプリケーションが連携して動作し、ネットワーク上に分散したサービスや資源、ユーザーなどは膨大なものになり、一元的に管理しないことには、運用管理のコストが増大してしまう。そこで、個々のMWやアプリケーションがそれぞれの資源管理をするのではなく、一元管理することにより管理コストを削減することを目的としたディレクトリサービスMWを適用した。

(注6) プログラムやデータを必要のつど、サーバからダウンロードする仕組みのクライアント。

広域クラスター MW

Wide-Area-Cluster Middleware

1 まえがき

システムの可用性(Availability)を向上させる手段に、

複数のサーバ計算機をネットワーク経由で連携させ、サーバ計算機どうしてバックアップするクラスタ技術がある。従来のクラスタは、LANや専用インタコネク特により同一サイト内で構築されてきた(ローカルクラスタ)が、最近のシステムが広域分散システムになるにつれて広域網上のサーバ計算機を連携させる図7のようなクラスタ(広域クラスタ)が求められるようになった。当社は広域網上でクラスタを構成することが可能となる広域網対応クラスタ MW を開発した。

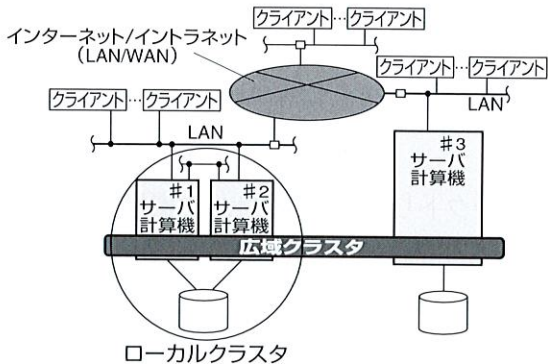


図7. 広域クラスタとローカルクラスタ 従来の、同一サイト内で構築されるローカルクラスタに対し、広域クラスタは遠隔地にあるサーバ計算機も連携させる。

Global cluster and local cluster

2 広域クラスタ MW の機能と特長

広域クラスタ MW 技術には二つの中心的な機能がある。

- (1) クラスタ制御機能 アプリケーションシステムを広域クラスタ上に構築する場合、連携するサーバ計算機の数が多くなり、同時障害、連鎖障害も発生するようになる。最後の1サーバ計算機が停止するまで、クラスタの構成制御としては正常に動作し続けることを保証し、また、多様な連携形態で柔軟にシステム構成設計できる必要がある。このようなクラスタ制御は、あるサーバ計算機での障害検出、他サーバ計算機群への通知、障害サーバ計算機からサービスや関連する共有リソースをバックアップサーバ計算機へフェイルオーバーするなどの制御を安全、確実にを行う。
- (2) 分散ミラードデータ機能 分散ミラードデータ(図8)は、ネットワークを介してサーバ計算機間でデータをレプリケーションする機能である。制御用イントラネットのプラットフォームとしては、組込みコピー、更新コピーおよびバックグラウンドコピー機能を開発した。また、更新コピーには同期的/非同期的レプリケーション機能がある。各コピー機能について、以下に述べる。

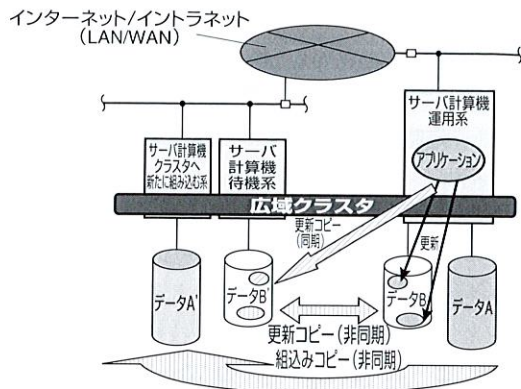


図8. 分散ミラードデータ 分散ミラードデータは、ネットワークを介してサーバ計算機間でデータをレプリケーションする。アプリケーションのデータ更新に同期/非同期的な更新コピーや組込みコピーがある。

Distributed mirrored data

- (a) システムに新しくサーバを追加してクラスタ構成とするときには、新しく追加したサーバのデータを既存のデータと等価な状態にする必要がある。それを行うのが組込みコピーである。
- (b) 制御システムのログデータのような履歴データは、新しくログが追加されたときにそれをクラスタ構成の相手サーバに反映してやり、いつクラスタの切り替えが発生してもよいように備える必要がある。このような比較的更新が早くないデータを更新コピー(同期)を用いて行う。
- (c) 制御対象の状態を表すオンラインデータは刻々と変化するものであり、それらを変化のつどディスクに書き、またそれをクラスタ構成をとる相手サーバに反映することは、ディスクアクセスおよび通信の多量発生観点からシステム性能へ悪影響を与えることが予想される。したがって、そのような刻々と変化するデータは更新のつどディスクに書き込むのではなく、複数の更新をまとめて書き込むようにしている。そして、ディスクに書き込むタイミングでクラスタを構成する相手サーバへ、更新コピー(非同期)によって反映する。

この分散ミラードデータの機能はサーバの台数が3台以上のクラスタ構成にも対応している。また、クラスタの運用形態はスクリプト言語によって指定することができ、運用形態の変更にも柔軟に対応できる。

3 あとがき—電力システムシステムへの適用

クラスタを構成するサーバの物理的な設置場所を自由とする広域クラスタ MW は、災害時にサーバサイトが全停することを防止する技術(ディザスタトレランス)とな

る。電力系統システムにおいては、広域網に存在する複数の電力系統システム間で相互にバックアップシステムを構築できることとなり、革新的な高信頼化技術となる。(森)

リアルタイム性安定化 MW Real-Time-Performance Stabilization Middleware

1 まえがき

WindowsNT[®]のリアルタイム性を安定的に利用できるようにし、WindowsNT[®]の制御分野への利用拡大をねらうことを目的としてリアルタイム性安定化 MW を開発した。この MW を利用することにより、優先度制御の面においてアプリケーションの設計どおりの動作が期待でき、かつ、システム負荷によらず応答時間のある範囲に抑えらるとともに、システムフリーズの危険性を回避したシステム設計が可能となる。

2 リアルタイム性安定化 MW の機能と特長

現在、制御システムは専用ハードウェア+リアルタイム基本ソフトウェア(OS)で構成されることが多い。しかし、監視系、全体制御系など、要求されるリアルタイム性の程度によっては、パソコン(PC)サーバを適用できる分野が存在する。ここに PC サーバを用いることには次のような利点がある。

- 汎用 PC を使うことによるシステムのコストダウン
- 規模拡大時など処理力の不足に対し CPU 高速化、マルチプロセッサ化などで対応可能
- Java などを利用したマンマシンインタフェースの開発が容易

しかし、WindowsNT[®]の制御システム(タイムシェアリングクラス)を適用する場合、以下のような技術的に考慮すべき点が存在する。通常は OS が内部でアプリケーションの優先度を変動させるため、設計者の意図どおりに動作しない。また、システム負荷により応答時間が大きく変動してしまう。これはリアルタイムクラス(以下、RT クラスと略記)という実行モードを使用することで解決するが、RT クラスでアプリケーションを動作させる場合には、さらに以下のような点が技術的には問題となる。

- (1) 何のコントロールもせずに RT クラスでアプリケーションを動作させると、PC の動作が突然停止する動作異常(フリーズ)を起こす恐れがある。

- (2) RT クラスで動作させると、最長で 120 ms の間、CPU を占有してしまう。
- (3) RT クラスで動作中は、ネットワーク通信やディスク I/O ができない。

そこで今回 WindowsNT[®]において開発した MW では、RT クラスを利用してアプリケーションの優先度の固定化を図り、それによりシステム負荷によらない応答時間を実現するとともに、RT クラスを使用した場合に問題となる上記事項(1), (2), (3)を回避する機能を実現した(図 9)。

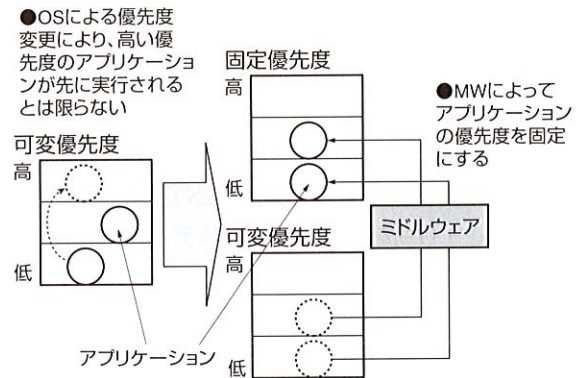


図9. 固定優先度への自動変換 自動的に固定優先度に変更して、スケジューリングおよび監視を行うことにより、応答性の向上と優先度面での設計どおりの動作を可能にする。

Automatic priority changing to fixed priority

この MW の機能を以下に列挙する。

- (1)を回避する機能 アプリケーションを自動的に RT クラスにする機能を開発した。これにより既存のアプリケーションを RT クラスで実行するための変更を最小限にした。
- (2)を回避する機能 アプリケーションによる CPU の占有を検出し、一時的に優先度を変更する機能を開発した。これによりタイミングバグによるシステムフリーズを回避できる。また、アプリケーションの連続実行時間を最高 1 ms まで縮める機能および、同じ優先度のアプリケーションを均等に実行する機能を開発した。これにより実行可能なアプリケーションの無駄な時間待ちを減らすことができた。
- (3)を回避する機能 RT クラスのアプリケーションが動作中にネットワークやディスクを使用する機能を設けた。

3 成果

リアルタイム性安定化 MW により、優先度制御の面においてアプリケーションを設計どおりに安定に動作させる

ことができるため、優先度のチューニングによる応答性能向上の効果をより大きくできる。また、システム負荷による応答時間の範囲をある程度に抑えることができる具体的な事例としては、CPU使用率が3%と98%のときで応答時間の差は、このMWを使用しない場合、最大約500ms、このMWを使用した場合、約10 μ sという結果が得られている。

3 あとがき—電力システムシステムへの適用

以上述べた技術はDLL(Dynamic Link Library)群とドライバ群で実現しており、WindowsNT[®]カーネル(OSの中核部分)、およびHAL(Hardware Abstraction Layer)の改造がなく、特殊なハードウェアも必要としない。したがって要求されるリアルタイム性の条件などが合えば、さまざまな制御システムにWindowsNT[®]を適用することができるという利点がある。電力システムにおいても、汎用OSを使用することによってシステム構築費用を削減したいという要望は強く出てきている。このMWにより汎用OSであるWindowsNT[®]を用いた電力システムシステムを構築することが可能となった。汎用OSを使用することで搭載できるソフトウェアパッケージの数も飛躍的に拡大し、いっそうシステム構築費の低減を実現できるものと予想できる。(渡壁)

ネットワークコンピューティングユニットの開発 Network Computing Unit (NCU)

1 まえがき

ネットワークコンピューティングユニット(NCU)は、各種制御用機器をイントラネット、インターネットへ接続するための制御用NCUである。このため制御用で必要とされるリアルタイム性、信頼性とネットワーク機能、GUI機能を併せて提供する。NCUはJavaによるアプリケーションの開発を可能としており、マルチプラットフォーム、オブジェクト指向、ネットワーク機能、GUI機能などを容易に実現することができる。

2 NCUの特長

- (1) 既存の制御装置にNCUを追加するだけで、保護リレーなどの組込み制御装置が汎用ネットワークに容易

に接続できる。

- (2) プロセス情報をイントラネットで収集し、汎用Webブラウザで表示、操作することで、個別機器の遠隔監視、運用、操作が可能となる。
- (3) 必要な機能を必要なときにネットワークを介して取り込み、利用できる。

3 NCUハードウェア

NCUハードウェアの仕様を表1に示す。また、NCUハードウェアの特長を以下に述べる。

- (1) 32ビットデュアルCPU構成 NCUはJava VMによるJavaアプリケーション実行環境を提供するCPU-Aと、制御装置本体とのリアルタイムインタフェース機能を提供するCPU-Bから構成される。
- (2) GPS(Global Positioning System)受信機の搭載 μ sオーダーの高精度な時刻管理機能により、広域に分散した発生事象の正確な時刻把握、順序決定および時刻同期制御機能を提供できる。

表1. NCUハードウェア諸元
Specifications of NCU hardware

項目	仕様
プロセッサ	32ビットRISCプロセッサ×2
GPS	GPS受信機(オプション)
インタフェース	Ethernet ^(注7) VGA(Video Graphics Array)(オプション) リレー シリアル(RS 232 C)
バス	VME

VME(Versa Module European) : IEEE 1014 標準による16, 32, 64ビットの非同期バス

4 ソフトウェア構成

NCUのソフトウェア構成を図10に示す。また、NCU基本ソフトウェア、MWの特長を以下に述べる。

4.1 Java実行環境(CPU-A)

- (1) Java VM ネットワークおよびファイルシステムからのシステムの起動が可能で、応答性、高信頼性を実現している。
- (2) データ管理機構 機器・制御装置の状態保持や操作機能を提供する。データ管理機構により機器や制御装置のもつリアルタイムデータのアクセス方式や入出力方式を隠蔽(べい)し、JavaアプリケーションやMWに対して統一的かつ抽象的なAPI(Application Programming Interface)を提供する。

(注7) Ethernetは、富士ゼロックス(株)の商標。

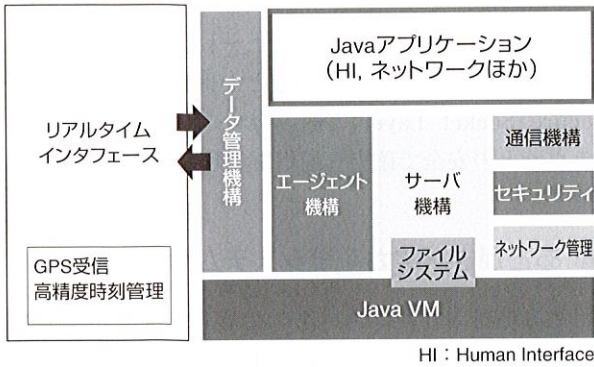


図10. NCUのソフトウェア構成 NCUの基本ソフトウェア, MWはJava環境に統一されている。
Software configuration of NCU

- (3) Webサーバ機構 機器・制御装置のリアルタイム情報をデータベースとして扱う組み込み型Webサーバである。監視制御に必要なリアルタイム情報をネットワーク上にイベントブッシュにより高速に配信するとともに汎用ブラウザからの機器・制御装置の操作・運用を可能とする。
- (4) その他 モバイルエージェントの動作環境, リアルタイムイベントを配信する高信頼通信機構, 汎用のセキュリティ管理・ネットワークの管理機構を備えている。

4.2 リアルタイムインタフェース(CPU-B)

- (1) GPS受信機能とそれによる高精度リアルタイム時刻管理機能の提供
- (2) Javaアプリケーションのリアルタイム性を実現するための制御装置本体と, Javaシステムとのインタフェース機能の提供

5 あとがきー電力システムシステムへの適用

制御システム向けに, ネットワークコンピューティング機能をもたせたNCUを開発した。NCUの特長は既存の制御装置を変更することなく, インターネット機能を付加できる点にある。機能の実装においては標準技術を用いるとともにリアルタイムに必要な応答・信頼性を考慮している。NCUのアーキテクチャは組み込み制御用途においては汎用的なものであり, ささまざまな制御分野へ適用可能である。

電力システムの保護装置へ適用する場合には, 遠隔地からのシステムの運用保守, エージェントによる設備点検, 異常時の解析など, 遠隔運用・保守の高度化が可能となるとともに, 標準技術を利用しているため, 制御装置の異メーカー間連携や, 保護システムと上位のシステム制御システムあるいは他の情報処理システムとの連携が可能になる。(前田)

マイクロWebサーバ

MicroWebServer Middleware

1 まえがき

マイクロWebサーバ(以下, μ サーバと略記)は, Javaが搭載された機器に組込むことを目的とした, 小型の汎用Webサーバである。通常のWebサーバ機能に加え, 機器を遠隔制御・監視するための機構をWebの枠組みだけで容易に実現するアプリケーションフレームワークを提供する。 μ サーバを搭載した機器は通常のWebブラウザがあれば, どこからでもインターネット経由で遠隔地から監視・制御できる。

2 要件と課題

Webのプラットフォームを利用することにより, 低コストでシステムを構築することができるが, 次のような課題を解決しなければならない。

2.1 サーバからブラウザへのリアルタイム通知機構

Webで機器の監視を行う場合には, 機器の状態をリアルタイムでブラウザの画面に表示しておく必要がある。しかし, Webの通信方式は, ブラウザからサーバに対してリクエストしその応答を得るという一方向のプロトコル(HTTP)である。このため, サーバ側の状態が変化した場合, それをリアルタイムでブラウザに反映させるためには, サーバに短い間隔で繰り返しリクエストを発行しなければならないが, 1秒以下の精度が必要な状態監視には負荷が高くなる。

2.2 ブラウザのセッション管理機構

ブラウザによる制御手順が複数のページにまたがる場合, ユーザーが戻りボタンなどで不用意に後戻りしたり, 明示的にURL(Uniform Resource Locator)を入力するなど, 決められた手順以外の順番ではページにアクセスすることができないような機構が必要になる。しかし, Webではページ間にまたがるセッションを管理する機構がない。このための簡易的な手段として, 一般にクッキーと呼ばれる機構がしばしば用いられるが, ブラウザ側でユーザーがクッキーを拒否することができ, 適切なものとは言えない。

2.3 制御画面の排他アクセス機構

機器を制御する場合, あるブラウザが制御画面を表示し操作している間, 他のブラウザが同じページにアクセスできないようにする機構が必要になる。しかし, 一般にサーバ側からは, ブラウザが現在どのページを表示しているか

を知る手段は存在しない。ページの切替え時にサーバにその旨を通知すればよいが、ページを表示したままネットワークが切断されたりブラウザを終了した場合には、その通知がサーバへ送られないことになるため問題である。

3 アプリケーション フレームワーク

前述した問題点は、Web で用いられている HTTP の特性に起因するものである。従来の解決手法としては、Java のアプレットなどを利用し、ブラウザにダウンロードしたプログラムとサーバ側にある CGI(Common Gateway Interface)プログラム間で HTTP を用いないで直接的にソケットで通信するものである。これによりサーバとブラウザ間で任意のタイミングで双方向の通信が可能になる。しかし、この手法では Web プロキシを経由しての通信が不可能になり、しかも、サーバ側には HTTP とは別のプロトコルによるサーバ機構が必要になるため、負荷が大きくソフトウェア構成も複雑になる。

μ サーバは、HTTP だけを用いてサーバとクライアント間で疑似的に双方向の通信を可能とするコマンドプル/イベントプッシュという独自に開発したアプリケーションフレームワークを提供する。このフレームワークは Web による分散アプリケーションの構築を容易にする Java のクラスとして実装されており、前述した課題をすべて解決している。

4 ソフトウェア構成

図11に、ソフトウェア構成を示す。 μ サーバは当社の組込み MPU 32ビットRISC(Reduced Instruction Set Computers)に搭載された Java VM 上で起動する。HTTP サーバ上にイベント配信、コマンド処理などの各種機能を、プラグイン可能な Java クラスによるサーバ側プログラムとして実装している。ブラウザにはサーバ側プログラムと連携して動作するコマンドプル/イベントプッシュ機構のためのアプレットを配信する。セキュリティ管理データには、この



図11. μ サーバのソフトウェア構成 HTTPサーバ機構の上に、各種機能をプラグイン可能なJavaクラスとして実装している。

Software configuration of MicroWebServer

サーバにアクセスできるユーザーに関する情報である ACL(Access Control List)などが保持されており、SSL(Secure Socket Layer)と組み合わせて用いることによりブラウザとの安全で確実な通信を実現している。

5 あとがき—電力システムシステムへの適用

組込み機器向けのコンパクトなWWWサーバを開発した。電力系統分野では、この μ サーバをNCUに搭載し、保護リレー装置に組み込む予定である。ネットワーク接続されることで、多種多様な機能が実現できる。これは、他の制御システムへも容易に展開可能である。(堤竹)

エージェント MW(μ Plangent/MAP)

μ Plangent/MAP Agent Middleware

1 まえがき

エージェント MW では、組込み機器でも稼働する軽量の移動エージェントシステム MAP や、高度な知識処理を行う移動エージェントシステム μ Plangent など、当社独自の先進のエージェント技術を統合した。これにより、知的なエージェントが組込み機器や計算機間を移動して各種処理を行うことが可能となった。

2 知的移動エージェントとは

移動エージェントとは、ネットワークで結ばれた計算機や各種機器の間を移動して処理を行うソフトウェアである。ソフトウェアが主体となり、自律的に移動を繰り返して処理を継続する点がJavaアプレットとの違いとなる。知的移動エージェントは、知識ベースに格納された分野知識や業務ノウハウを参照し、タスク遂行のためにどこで何をすればよいかといった行動計画をみずから決定して実行する能力をもつ。

3 知的移動エージェントの特長

エージェントは操作端末で操作員の指示を受け、タスク遂行のために遠隔機器まで移動して処理を行う。このような仕組みには以下の利点がある。

- (1) 広域に分散した機器を対象とし、人間の判断を要する処理を自動化でき、大きな省力化が期待できる。予

期せぬ異常事態が生じた際には、業務ノウハウに基づいてエージェントが適切な処置を行う。

- (2) 処理を開始したエージェントは操作端末と切断された状態で独立に処理を進めるため、操作端末への負荷集中を回避できる。
- (3) 電話回線などで結ばれた遠隔機器を操作する場合、エージェントを機器側に送り込んでローカルに実行すれば、通信遅延による操作の遅れを解消できる。また、移動時以外は通信回線を切断できるため、通信コストを低く抑えることも可能となる。
- (4) 負荷のかかる計算を途中で他の機器へ移すことができるため、例えば組込み機器のリソース不足を他の計算機で補うといったように、ネットワーク全体を一つの計算資源として有効活用できる。
- (5) 処理に必要なプログラムがそのつど遠隔機器に送り込まれるため、機器側には最小限のプログラムを設置するだけでよい。万一プログラムに不具合が生じて、修正は操作端末において実行開始前エージェントに対してだけ行えばよく、保守性の向上が期待できる。

4 μPlangent / MAP のシステム構成

μPlangent/MAPは、各機器や計算機に設置されるプラットフォーム、それらの間を移動する移動エージェント、エージェントの動きを監視・制御するエージェントモニタなどから構成される。図12に示すように、各プラットフォームはMAPとその上に実装されたμPlangentからなる。移動エージェントで重要なセキュリティとセーフテ

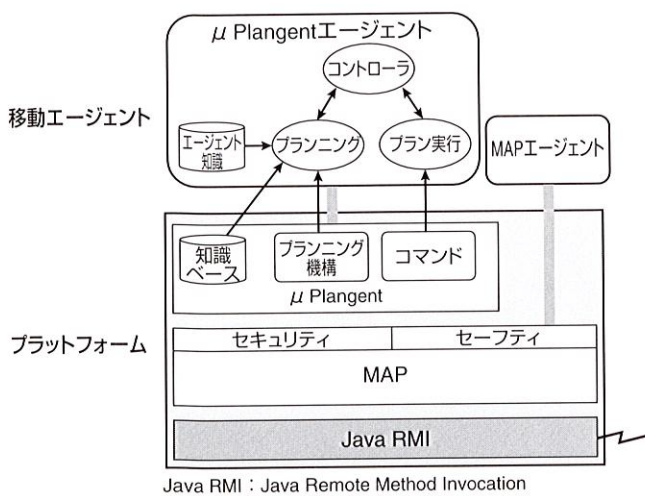


図12. μPlangent / MAP システム構成 軽量の知的 μPlangent システムが Java 上に実装されている。
Configuration of μPlangent/MAP agent system

いはMAPで保証され、不正なアクセスやエージェントの暴走が防がれる。知的処理のための分野知識や業務ノウハウなどはμPlangentにおいて知識ベースの形で管理される。知識ベースは各所に置かれ、機器ごとの仕様の違いや動作環境の違いは個々の知識ベースで吸収されるため、操作員はこれらの差異を意識しなくて済む。一般的に知識ベースを扱う処理は重くなる傾向にあるが、μPlangent/MAPではネットワーク上の資源を有効活用し、効率的に負荷を分散する。ここでの移動エージェントの仕様は、OMG(Object Management Group)の定めるMASIF(Mobile Agent System Interoperability Facilities)標準化仕様にはほぼ準拠している。

5 あとがきー電力システムシステムへの適用

電力システムをターゲットに、以下のアプリケーションを開発中である。

- (1) 巡視エージェント エージェントが保護リレー端末を巡回し、保守運用情報を取得する。端末の異常を検出した際には、回復処理の実施、関連情報の取得、操作員への通報などを状況に応じて適宜実施する。
- (2) 事故解析エージェント 電力システムに事故が発生した際に、エージェントが関連機器の情報を収集し、整理/分析を行なって操作員に結果を報告する。

この他にも、各端末の整定・設定値を書き換える整定エージェント、端末の電気量などをデータベースに格納する計測記録エージェント、遠隔機器の操作や制御を行う機器操作/系統制御エージェントなどを順次開発していく予定である。
(大須賀/武脇)



外山 春彦 TOYAMA Haruhiko

研究開発センター コンピュータ・ネットワークラボラトリー。
分散システムに関する研究・開発に従事。
Computer & Network Systems Lab.



藤原 睦 FUJIHARA Mutsumi

研究開発センター システム技術ラボラトリー主任研究員。
離散事象シミュレーション技術に関する研究・開発に従事。
Systems Engineering Lab.



松本 茂 MATSUMOTO Shigeru

情報・社会システム社 SI技術開発センター SI技術担当主務。
WebTopシステムの研究開発に従事。
System Integration Technology Center



橋本 圭介 HASHIMOTO Keisuke

情報・社会システム社 SI技術開発センター SI技術担当。
情報セキュリティによるSIソリューションの開発に従事。情報処理学会会員。
System Integration Technology Center



星加 修 HOSHIKA Osamu

情報・社会システム社 SI技術開発センター SI技術担当主務。ネットワークシステム管理のサービス業務に従事。情報処理学会会員。

System Integration Technology Center



森 良哉 MORI Ryoya

デジタルメディア機器社 コンピュータ&ネットワーク開発センター 開発第三部グループ長。分散ノード連携ソフトウェア技術の研究・開発に従事。情報処理学会, IEEE 会員。

Computer & Network Development Center



渡壁 健 WATAKABE Takeshi

デジタルメディア機器社 コンピュータ&ネットワーク開発センター 開発第一部。サーバ計算機の高信頼化技術の研究・開発に従事。情報処理学会会員。

Computer & Network Development Center



前田 猛 MAEDA Takeshi

電力システム社 電力・産業システム技術開発センター 情報処理・通信技術担当主務。インターネット技術応用システムの研究・開発に従事。情報処理学会, 電気学会会員。

Power and Industrial Systems Research and Development Center



堤竹 秀行 TSUTSUMITAKE Hideyuki

デジタルメディア機器社 パーソナル&マルチメディア開発センター 開発第五部グループ長。Javaによるネットワークのミドルウェア, ソフトウェアの開発に従事。情報処理学会会員。

Personal & Multimedia Systems Development Center



大須賀 昭彦 OHSUGA Akihiko, D.Eng.

研究開発センター コンピュータ・ネットワークラボラトリー研究主務, 工博。エージェント技術の研究・開発に従事。情報処理学会, 電子情報通信学会, 日本ソフトウェア科学会, IEEE 会員。

Computer & Network Systems Lab.



武脇 敏光 TAKEWAKI Toshimitsu

デジタルメディア機器社 コンピュータ&ネットワーク開発センター 開発第四部主務。モバイルコンピューティングシステムの研究・開発に従事。情報処理学会会員

Computer & Network Development Center