

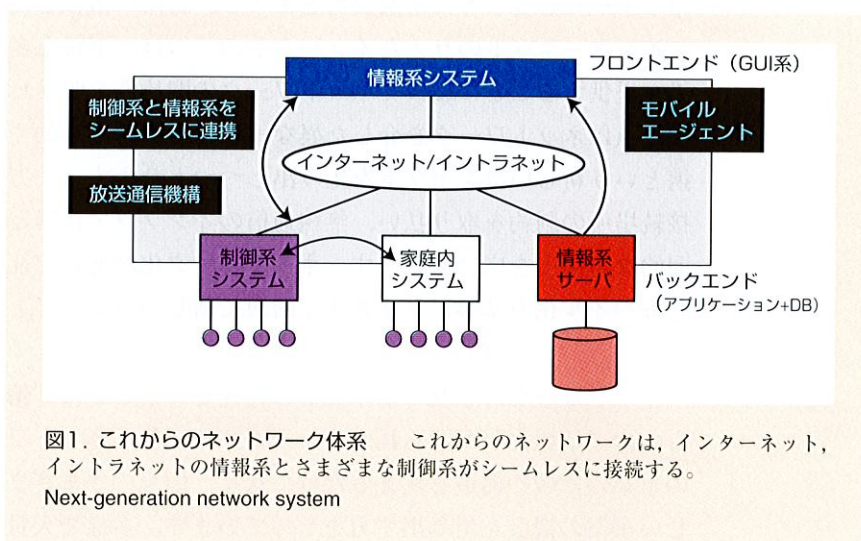
インターネットや企業内イントラネットに代表される最近の情報システムは、ますます大規模にかつ複雑になってきており、モバイルエージェント^(注1)がこのようなネットワークアプリケーションの本質的な部分になりつつある。これは、モバイルエージェントが複雑さを軽減するからである。なぜならば、多くのネットワークアプリケーションはごく自然にモバイルエージェントモデルに適合させることができ、しかも、ネットワーク条件に変化があったときも、柔軟に動作しなければならないアプリケーションにも、モバイルエージェントを用いて効率よく、容易に構築することができる。また、モバイルエージェントは頑強で耐故障性のあるミドルウェア構築にも有効な解を与えている。

Modern information systems, exemplified by the Internet and corporate intranets, are typically large and complex. Mobile agents are becoming an essential part of these systems because they mitigate their complexity. Most network applications fit naturally into the mobile-agent model, and can be implemented easily and efficiently using mobile agents even if extremely flexible behavior is required in response to changing network conditions. Moreover, mobile agents provide robust and fault-tolerant middleware.

This paper discusses the roles of mobile agents in network applications.

■ ネットワーク社会の到来

近年のインターネットやイントラネットの爆発的な普及により、家庭生活や社会生活が大きな変化を遂げようとしている。米国ではインターネットに接続する家庭の割合が約25%に迫りつつあるとの報告も出ている。わが国でも数年以内には確実にこのような数字になるであろう。これまで、コンピュータは職場や家庭において、電卓、日本語ワープロ、パソコン(PC)などさまざまな形でわれわれに多大な影響を及ぼしてきた。電卓の出現でそろばんが消え、日本語ワープロによって鉛筆や万年筆が職場から激減した。インターネットの普及は、こうした影響にとどまらずに、生活スタイルが大きく変わっていくことが予想される。これは、コンピュータが計算や清書などの作業を代行する道具からコミュニケーションの道具に変化したためである。今世紀の発明において、電話やテレビと並び称されるコンピュー



タがようやくわれわれの生活に深く影響を及ぼすようになったのは、通信技術と結びついたからに他ならない。

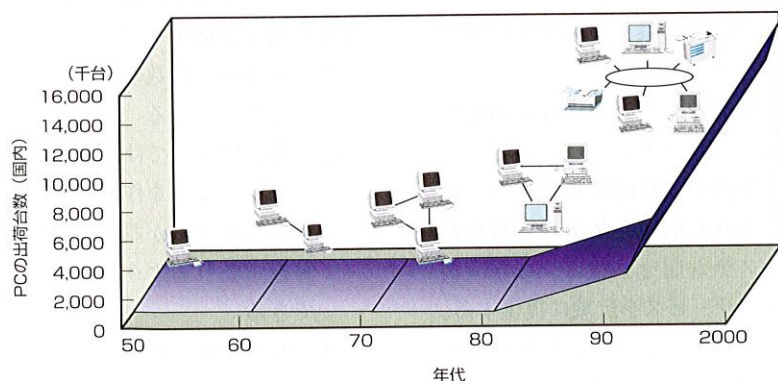
さて、コンピュータが生まれてから半世紀が経過しているが、ネットワークはコンピュータ自体の進化と深く連携している。現在はまさにネットワーク社会の時代でインターネットの普及とともにネットワーク抜きにはコンピュータを語れない時代

になった(囲み記事参照)。

■ ネットワーク社会のソフトウェア技術

今後ますますインターネットは普及し、いわゆる情報系だけでなく、制御系とも接続されるようになるのは必至である。すなわち図1に示すように、情報系と制御系がシームレスに接続される形態を取ることにな

コンピュータの普及とネットワークの進化



コンピュータの進化の歴史を振り返ると、1950年代にコンピュータが登場して以来、大きく五つの世代に分けることができる。

(1) ネットワーク以前 (50年代)

コンピュータには、カードリーダーやテーブリーダーなどの入力装置と、出力装置であるプリンタが連結されていたにすぎなかった。多くの場合、計算機センターと呼ばれた建物の中にすべてのコンピュータが独立に鎮座し、ネットワークという言葉すら存在していなかった。

(2) ホストに端末を接続 (60年代)

ホストコンピュータを中心に、入出力を一体化した端末を複数、放射状に結び、ホストコンピュータの計算リソースを時分割で利用

するタイムシェアリングシステムが登場した。現在のネットワークコンピューティングというパラダイムを生む黎明(れい)の期と言える。

(3) 複数の計算機を相互に接続 (70年代)

60年代までは、基本的にシステムには、一つのコンピュータだけが存在する、いわば単細胞システムであった。

70年代に入ると、地理的に離れた複数のコンピュータを専用線で結んだ多細胞化したシステムが出現した。いよいよネットワークコンピューティングの登場である。現在のインターネットの原点である軍事用ネットワーク“ARPANET”も精力的に研究が

進められた。

(4) コンピュータネットワークの普及 (80年代)

ARPANETから発展したTCP/IP*が登場し、異なる種類のコンピュータを相互に接続できるようになった。職場内に敷設され始めたLAN (Local Area Network) を脊髄として多数のコンピュータがネットワークに参加し始めたのも80年代に入ってからである。さらに、80年代後半には電子メールなど、ネットワークを生かしたアプリケーションが登場してきた。

(5) インターネットネットワーク社会の出現 (90年代)

80年代に産み出された電子メールはその後も大きく普及し、電話、FAXに次ぐコミュニケーションメディアとなったが、これに加え、WWW (World Wide Web) が出現するに至り、状況は一変した。WWWはラジオ、テレビに次ぐ公共性の高いメディアとして登場したが、その後のインターネットの普及の速さは、鉄道や道路、ラジオ、テレビ、電話などの広域社会インフラの歴史と比べても、前代未聞である。ここ2、3年の急速なインターネットの伸展と普及によって、PCを代表とするコンピュータの使いかたは、ネットワーク抜きには語れない、まさにネットワーク社会の時代へと変わりつつある。

*TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol)

狭義にはIP上の送達確認などを考慮したコネクション型の通信プロトコルを指すが、広義にはIPプロトコル上に実現される各種プロトコルと通信サービスをいう。

るだろう。典型的な事例としてはインターネットと家庭内のネットワークが接続される。たとえば、家の外からインターネットを介して家の空調のスイッチをONにすることや、職場のPCから家のセキュリティをチェックすることなどが可能となる

わけである。さて、こうした機能を実現するためには、制御系のイベント^(注2)と情報系のメッセージ^(注3)が相互に行き来する仕組みや、複数の宛先に同時に送信したりする機構が必要となってくる。そのためにイベント駆動型の水平分散アーキテクチ

ャが目され、当社はJava^(注4)をベースとしたECJ_{TM} (Event Centric for Java) と呼ぶ非同期ネットワーク分散連携機構を提供している(関連論文p.7参照)。また、ネットワーク上をさまざまな役割をもつモバイルエージェント群が駆け巡る時代が到来

(注1) エージェント

人間の代行者としてネットワーク上の離れた計算機間を自由に行き来し、交渉しながら必要な情報を収集して帰ってくるソフトウェア。行動するオブジェクトである。ネットワークコンピューティングのソフトウェア技術の核技術として位置づけられる。

するだろう。家の中からエージェントがインターネット上に出てさまざまな情報を入手して家に戻ってくるのがあたりまえになるのである。一方、不安定でかつオープンなネットワークをソフトウェアでサポートするため、いわゆるミドルウェア^(注5)の役割がきわめて重要になってきている。

■ これからのネットワークアプリケーションを構築するモバイルエージェント

インターネットやイントラネットの普及に伴い、例えば次のようなアプリケーションの割合が大きくなる。

- (1) 収集した情報に基づいてその後の行動が決まり、行動の結果によって、さらに必要な情報が決まるといったシステム。例えば、旅行計画立案手配システムでは、旅行計画の立案とチケットの予約状況が影響しあい、状況に依存した臨機応変の対応を実現する。
- (2) 定期的にネットワークを巡回して計算機を保守・管理するシステム。不具合を検知したときには、臨機応変に対処する。
- (3) 広域に分散した大規模かつ複雑なデータベースから情報を抽出し加工するシステム。
- (4) リモート側での処理が多種多様で、前もってサービスプログラムを用意できないシステム。例えば、機器の遠隔制御などがこれに相当する。
- (5) 非公開もしくは有料情報を利

用するシステム。情報のある場所まで移動し、必要な情報だけを用いて処理を行い、その結果だけを持ち帰ってくる。

- (6) 携帯端末を活用するシステム。例えば、営業支援や保守作業支援など。
- (7) 環境やサービス内容が頻繁に変わるシステム。
- (8) 部門や会社間をまたがって結合された広域システム。異なるシステム間を柔軟につなぎ、情報やサービスを広域に提供する。

こうしたネットワークアプリケーションに対してモバイルエージェントは有効な解を与えている。なぜモバイルエージェントが有効なのか基本的な動きを次に説明する。

例えば、ネットワーク上の離れた場所に二つの計算機が接続されていたとする。一つの計算機にはユーザー、もう一つの計算機には必要なデータがあるとする。モバイルエージェントは、必要に応じてこの二つの計算機を自由に行き来することができる。例えば、データのある計算機側に移動することにより、データ通信なしに求めるデータにアクセスすることができる。また、ユーザーのいる計算機側に移動することによって、ユーザーのアクションに迅速に対応することができる。いずれの場合にも、たとえネットワークが不安定であっても、データあるいはユーザーとの交信を継続することができる。なお、モバイルエージェントと関連技術をプログラムとデータの位置と動きの観点から比較したのが図2である。

さて、多くのネットワークアプリ

ケーションはモバイルエージェントで実現できる。このモバイルエージェントは、次の三つの形態を組み合わせることによって、ネットワークアプリケーションに対して、きわめて魅力的な意味をもつ。

- (1) 逐次的に複数の計算機を訪れることもできる。
- (2) 場合によっては、複数の子供エージェントを作りそれぞれのエージェントが並行に複数の計算機を訪れるようにすることもできる。
- (3) あるいは、移動しないでリモートでデータをアクセスすることもできる。

なお、多くのネットワークアプリケーションは、R P C (Remote Procedure Call)、高水準データベース検索言語、Javaアプレット^(注6)などのさまざまな従来技術を用いても構築できる。しかし、ネットワークアプリケーションに合わせて、適用する技術がそれぞれ異なっている。モバイルエージェントを用いると、上述の三つの形態を組み合わせることで事足りるため、これらの技術を必要としない。また、ネットワークの条件が変化した場合など、予期し得なかった事象に対しても柔軟に対応できる。さらに、モバイルエージェントによって、少ないプログラム量で複雑で効率よく、頑強なシステムを構築できる。

現在、各社からさまざまなモバイルエージェントが提案されている。当社でもPlangent_{TM}と呼ぶ知的ネットワークエージェントを開発し、さまざまなアプリケーションを構築している(関連論文p.11参照)。

(注2) 制御系のイベント

温度、圧力、回転数などのセンサーからの計測値(アナログ値)や、火災、煙、接触などの検知センサーからのデジタル値を、発生した事象(イベント)として発信するもので、一般に発信側は受信側やその処理を意識しない。したがって、センサーはイベントを発信すると、受信側の処理の進行いかにかわらず、次に発生したイベントを発信し続ける。いわゆる非同期型の通信、処理が基本となる。また、多くの場合イベントの発信は1対多となる。

(注3) 情報系のメッセージ

クライアント/サーバシステムにおけるクライアントとサーバ間のメッセージはその典型的な形で、要求のメッセージを受信側を特定して送信し、受信側はこれに応じた処理を行い、結果を元に戻す。要求メッセージを送信した側は結果が返るのを待って続きの処理を実行する。いわゆる同期型の通信、処理が基本となる。また、1対1の通信となる。

■エンタプライズモデリング

さて、ネットワーク社会においては、広範囲(部門をまたがった企業内、あるいは企業間連携)に分散する情報をどのように共有するかが重要な意味をもってくる。そこで、ここでは情報の共有化とその活用に関する動向について述べる。情報のオープン化、標準化においては、製品のライフサイクル全般(設計、製造、調達、運用など)にわたってすべての関連情報を電子化し、オープンな情報ネットワークを用いて、企業をまたがりグローバルに必要な情報の共有と活用を進める、CALS(Commerce At Light Speed)と呼ばれる試みが進んでいる。また、複数企業が設計、製造、調達、運用を分担し、一つの事業を完結する事業統合(Enterprise Integration)/仮想企業(Virtual Enterprise)の実践なども行われている。

さらに、オンラインショッピングや電子決済で注目を浴びている消費者EC(Electronic Commerce)や、企業間の電子的な商取引を旨とした企業間ECにおいても、ネットワークを介したアプリケーション間の相互接続が一つのキーとなる。そのため、昨今ではネットワークを介してさまざまなデータ交換を実現するための多くの技術や規格が提案されている。しかし、これらの技術は基本的に要素技術であり、どれか一つを用いることでアプリケーション間の相互接続が可能になるというものではない。また、これらの技術は情報の徹底した電子化と多くの正確なリンクが存在することを前提としている。

したがって、実際にネットワーク

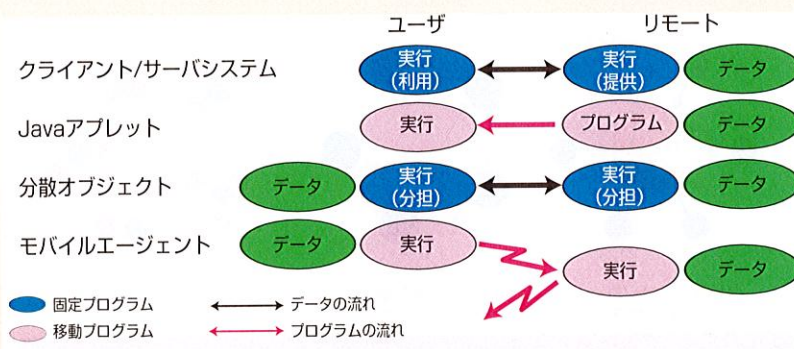


図2. モバイルエージェントと他の技術との相違 プログラムとデータの位置からネットワークアプリケーションの構築手法が分類できる。モバイルエージェントは、プログラムがデータの場所に動くことが大きな特長である。

Comparison of mobile agents with other technologies

を介した分散システムを構築するためには、これらの要素技術を効率的に組み合わせる技術、および環境の動的な変更に対応できる仕組みが必要である。この仕組みのベースとなるのもエージェント技術である。

■ネットワーク社会におけるミドルウェア技術

近年、異種のプラットフォーム、異種のアプリケーションの相互接続の必要性と、アプリケーションシステムそのものが巨大化して一つのベンダで作りきれなくなったことにより、オープン化、(デファクト)スタンダード化が盛んになってきた。

一方、こうした潮流のなかでオブジェクト指向^(注7)技術、クライアント/サーバシステムアーキテクチャ^(注8)が企業の情報システムの実現に非常に重要な役割を果たしてきたことは周知である。しかし、インターネットやイントラネットというネットワーク社会のなかでのコンピューティングは、80年代までの分散システムとはまったく異なったパラダイムを要求し始めた。システムの境

界そのものがオープンになり、システムの全体をあらかじめ確定的なものとして予測できなくなった。システムの新設といっても、オープンなネットワーク社会の一部分としてのシステムが完成し、ネットワーク社会のなかに加わえられると考えなければならなくなった。

したがって、システム全体が見えないのは設計段階だけではなく、完成して運用に入ってからと同様である。こうしたパラダイムシフトのなかでは従来のクライアントとサーバの関係が予見的に確定されなければならないクライアント/サーバシステムだけでは十分ではない。

そこで、現在、分散アーキテクチャの流れは従来のクライアント/サーバモデルから、より柔軟な構成を可能にする分散オブジェクトモデル(CORBAなど)へと移りつつある。

しかし、分散オブジェクトモデルでは接続するシステム相互の理解とモデル化およびインタフェース間の厳密な規定が必要とされる。そのため、システム構築時にシステム全体の理解が困難な場合や実行状況による非決定的な要素が多く含まれる場

(注4) Java

Javaは米国Sun Microsystems社の商標。インターネットに向けたオブジェクト指向言語。

(注5) ミドルウェア(Middleware)

アプリケーションプログラムとネットワークやコンピュータハードウェアとの間に位置し、アプリケーションプログラムの実行や管理を支援するソフトウェア環境。

(注6) Javaアプレット

他のアプリケーションに読み込んで動作させる形式のJavaプログラム。

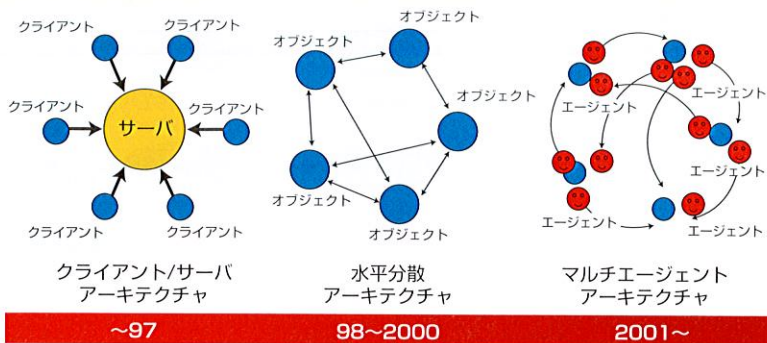


図3. ネットワークミドルウェアの変遷 クライアント/サーバモデルから水平分散オブジェクトモデルを経て、マルチエージェントモデルへと移りつつある。
Trends in middleware for networks



図4. ネットワークソフトウェアアーキテクチャの現状と今後 ネットワーク社会に向けたソフトウェア技術は水平分散ソフトウェアアーキテクチャから、2~3年後にはモバイルエージェントアーキテクチャに移行していく。
Trend in network software architecture

合には分散オブジェクトモデルに基づく分散システムの開発は困難である。また、近い将来インターネットなどの広域なネットワークを介して大規模な分散システムを構築する場合は、不特定者によってシステム構成が変更されたり、サービス内容が更新されたりすることが予想される。そのため、分散オブジェクトモデルによる“かたい”接続は適用困難な場面が多くなるだろう。

そこで当社は、“やわらかい”接続を実現するエージェント技術をベースとしたマルチエージェントミドルウェアを構築している。マルチエージェントミドルウェアとは、レガシーシステム(既存ソフトウェア資産)やパッケージソフトウェア

を対象とし、複数のモバイルエージェントの仲介によってネットワークを介した協調的な処理を可能にするネットワークインフラである。

マルチエージェントミドルウェアを用いることにより、既存のソフトウェアを柔軟に結合した大規模な分散システムを構築することが可能になる。また、企業間にまたがる大規模なサーバシステムの構築や企業間でのシステムの統一が不要となるため、企業規模を問わない柔軟な業務連携を実現することができる。こうしたミドルウェアは、まさに社会としてのネットワークコンピューティングを使いこなすための基盤といえる(図3)。

(注7) オブジェクト指向

ソフトウェアの対象をモノととらえるモデリング手法。再利用性の高いソフトウェアを構築できる。

(注8) クライアント/サーバシステムアーキテクチャ(Server/Client System Architecture)

要求に対してサービスを提供するサーバと、サーバに要求を出してその結果(サービス)を使って処理を行うクライアントに別けて構成されたシステム。

■ 当社の取組み

ここでは、ネットワーク社会に向けたソフトウェア技術としてモバイルエージェントを中心に述べた。ただし、図4が示すように、モバイルエージェントが基調となるのは2~3年後の姿であり、現時点では、水平分散ミドルウェアをベースとしたシステムが定着しつつある状況である。今後モバイルエージェントに急速に移行していくと思われるが現在はその過渡期であり、両者の技術が混在している状況である。

この特集では、以上を踏まえて現時点で当社が取り組んでいる基盤技術、ミドルウェア、アプリケーション、開発支援系などの事例を紹介する。



本位田 真一

HONIDEN Shinichi, D.Eng

研究開発センター S&S研究所 ラボラトリー・リーダー、工博。
オブジェクト指向技術、エージェント技術の研究・開発に従事。日本ソフトウェア科学会、情報処理学会会員。
Systems & Software Research Labs.



守安 隆

MORIYASU Takashi

研究開発センター S & S研究所 主任研究員。
ネットワークコンピューティングの研究・開発に従事。IEEE、情報処理学会会員。
Systems & Software Research Labs.



川村 隆浩

KAWAMURA Takahiro

研究開発センター S & S研究所。
分散人工知能、マルチエージェントシステムの研究・開発に従事。人工知能学会、情報処理学会会員。
Systems & Software Research Labs.