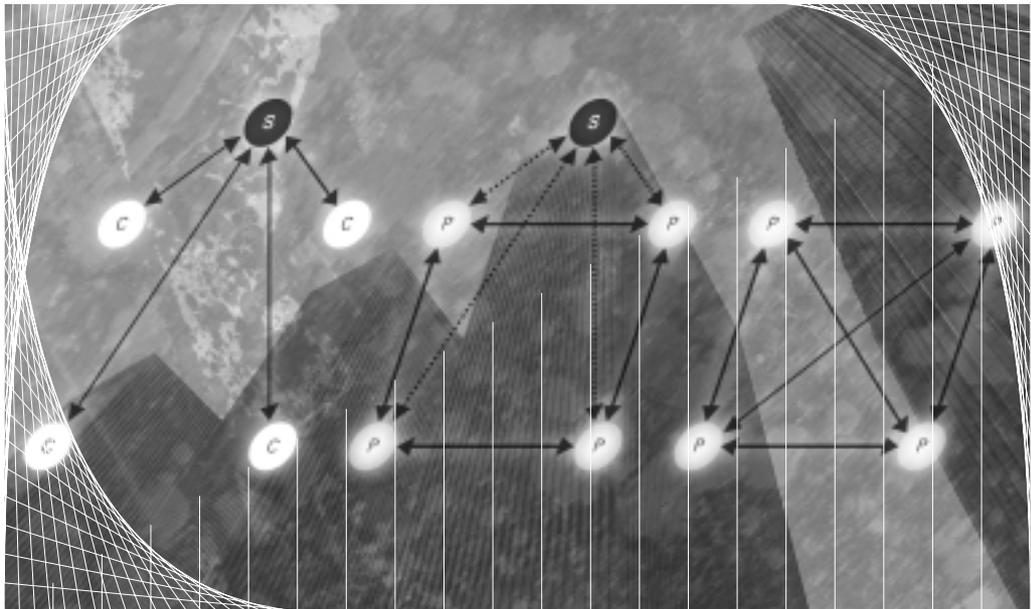


サーバーに依存しないP to P型システムの設計

横澤 誠



ユビキタス・ネットワークの登場により、これまでの定石であったクライアント・サーバー型とは異なるシステムの設計の可能性が見えてきた。サーバーに依存せず、計算機同士を対等な関係で扱う「P to P (ピア・ツー・ピア)」型システム (以下、単にP to P) は、余剰資源の活用や、コンテンツ配信、コラボレーションなどの分野での応用に期待が高まっており、インターネットの全通信量に占めるP to P型通信のデータの割合も、爆発的に多くなってきている (ピアとは同僚、仲間の意である)。

NRI 野村総合研究所では、このP to P型設計の有用性や問題点を探る目的で、京都大学大学院で運営している産学連携の研究分野に所属する学生らと共同で、掲示板のようにメッセージをサーバーに依存せずに共有する実験システムを作成した。一般公募したユーザーを対象とした実験を行い、実用性を確認することができたが、その一方で著作権、プロバイダー責任など、社会性の観点から検討すべき点が多くあることも示された。

P to P 型設計の持つ意味

1 パソコン組織のフラット化

これまでのパソコンを中心とした情報システムでは、サーバーと呼ばれる高機能、高性能の特別な機械が、必ず大きな役割を果たしてきた。企業内では要所に設置されたサーバーが、各個人の机の上のパソコンからの要求に応じてさまざまな処理をするなど、忠実な奉仕者（サーバー）とその顧客（クライアント）の関係、いわゆる「クライアント・サーバー」方式が、企業システムから、家庭でのウェブの閲覧、電子メール送受信に至るまでの統一コンセプトとなっている。

しかし、ネットワークのブロードバンド（高速大容量回線）化、モバイル化、常時接続化が同時に起こる「ユビキタス・ネットワーク」の環境のもとでは、単純なクライアント・サーバー方式とは異なる分散環境の設計が提案されており、従来型と共存しながら最適な情報システムを構成するための検討が始まっている。

1つの方向性は、従来のクライアント・サーバー方式よりも強くサーバーに依存する思想である。例えば、「シンクライアント」（シンは薄いの意）と呼ばれ、徹底的にサーバーに処理を依存することで、クライアント側は中途半端に作業分担させられることを免れ、使いやすいインタフェースを提供することに専念するという設計がこれに相当する。「ターミナルサービス」や「リモートデスクトップ」（いずれも遠隔地からのパソコンの操作を受け付ける機能）、「ネットワークコンピュータ」（ネットワークに特化した構造を有するコンピュータ）などが具体例である。

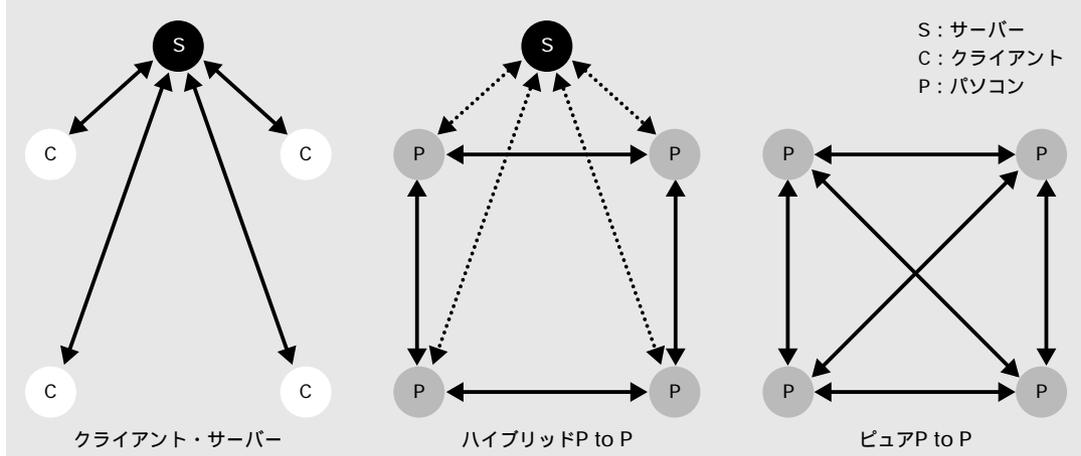
これと対極にある思想は、中央集中管理ではなく、本来の分散環境に近い構成方法を探るもので、「P to P（ピア・ツー・ピア）」がその代表として注目を浴びている。

企業の現場のユーザーは、サーバーの要求する項目をひたすら忠実に入力するのではなく、もっと柔軟に自分の手元にある情報を共有することを望んでいる。また、家庭でのインターネット利用においても、苦勞して何回もクリックをして、やっと自分の望む情報を有するサーバーから提示してもらえるのではなく、直接求める情報を持った人に会いに行くという、人間対人間の関係に近いネットワークの利用の仕方がありそうである。

こうした疑問から新たに見直され始めているのが、P to Pと呼ばれる設計である。P to Pは、専用のサーバーに頼らず、接続されたコンピュータ同士が同等な立場で直接コミュニケーションするネットワーク形態をとる。サーバーへの一極集中的な資源の要求を避けることができるため、大容量コンテンツの配信や、知的情報の共有に向いているといわれる。また、余剰計算機資源（CPU 中央演算処理装置 処理能力やディスク容量）を集めて、有効利用することもできる。

次ページの図1に、従来のクライアント・サーバー方式とP to P方式との違いを示す。P to Pのなかでも、完全にサーバーに依存しないピュアな（純粋な）P to Pと、所在情報や参加者のIP（インターネットプロトコル）アドレス等のデータなど、一部分だけを補助的にサーバーが管理するハイブリッド（折衷）型のP to Pがあるものの、主となるデータ交換やリソース（計算機資源）の共有は直接、当事者同士で行われる。

図1 クライアント・サーバー方式とP to P方式（ハイブリッド型とピュア型）



2 出発点への回帰としてのP to P

インターネットの初期には、サーバー専用のマシンは今ほど多く存在しなかった。その頃はほとんどのユーザー（多くは理工系の研究者）が、自らの机の上に、当時としてはある程度高性能なワークステーションを構えていた。プロセス（ワークステーション上の作業単位）ごとに、時としてサーバーとなりクライアントとなりはしたが、全体としてみれば公平感に満ちた「分散協調処理」の環境であった。現在始まっているP to Pの流行は、その時代への回帰ともいえる。

著作権侵害を助長するとして物議をかもしている「ナップスター」や「グヌーテラ」なども、P to Pで資源を共有している。ナップスターでは限定的な脇役としてのサーバーしか必要とせず、グヌーテラに至ってはネットワーク上でコミュニケーションをとっているすべてのマシンが対等な関係となる。ある意味で「脱サーバー」の技術であり、お互いに相手を対等とみなせる関係において成立する「武士は相身互い」の関係に近い。

これらは現状では、MP3（音声圧縮方式

の1つ）音楽データや動画ファイルといった、巨大なデータ（数メガから数百メガバイト）を交換する手段として、ネットサーフィンを一通り卒業してしまったインターネットユーザーの間で世界的に使われている。データ資源だけではなく、世界中のパソコンの遊休CPU資源を使って、白血病の研究を行うプロジェクトなども進行している。

3 ブロードバンドと知的組織の中でのP to P

一方でP to Pは、ブロードバンドを有益に使うアプリケーションとしての側面も期待されている。近々、いつでも、だれでも手元の情報をインターネット上の全員に配布できる発信者としての役割を担うことが可能になる。この場合、仮に1人と通信するのに必要な帯域が50Kbps（キロビット/秒）だとしても、1000人がそこにアクセスしてくると、50Mbps（メガビット/秒）が必要という計算となる。このように、同時に通信する相手の数が増えると、あっという間に光ファイバーの供給帯域でも埋め尽くされてしまう。こ

れが、どこの家庭にも起こりうる。

例えば、日常の生活の中の数メガバイトの映像が世界中の人々に、感動を持って評価されるようなことも起こる。また、たまたま近所で起きた大事件に関心を寄せる世界中の人々が、その家の窓の外から見える映像の配信を求めるかもしれない。

同時に、情報の取り扱い方も根本的に今のクライアント・サーバー方式からは異なったものになっていくだろう。

クライアント・サーバー方式では、手元にある情報をサーバーに「アップロード」する際に、送信操作の労力に加えて、必ずといってよいほど、「他人に見せる」ための編集の手間を要していた。営業日報や活動報告、顧客とのコンタクト情報などを入力するには必ず、一定の書式が用意されていて、自分の頭の中にあることを分解、再整理して入力することが必要である。また、企業内ではサーバーにアクセスできる権限を持つ人々の間の固定されたグループ内での知識共有にとどまってしまうがちである。

P to Pでは、少なくとも情報に統一書式を求めて効率を追求するというよりは、刻々と変化する情報に直接アクセスして、「そのまま」活用するような方向に発展すると思われる。十分な帯域の常時接続環境が保証され、人間に代わって知的な編集作業やデータの統一を行う機能を持ったユビキタス・ネットワークが前提となるが、従来の枠組みにおける組織の壁を超え、フラットで対等な関係に近い、より柔軟な知識共有のための仕組みをつくることのできる可能性がある。

このようにP to Pは、双方向ブロードバンド環境の実現によって、改めて不特定多数間

の知的な双方向コミュニケーションを担うための技術として再検討され始めている。

P to Pの現状と課題

1 P to Pの分類と事例

現在、パソコンを中心としたP to Pの開発事例に共通しているのは、何らかのリソースをネットワークを介して共有するという点である。どのリソースを共有するのかに主として着目し、P to Pの開発事例を表1から表8までに分類した。

(1) コンテンツの共有

メッセージの共有

メッセージ共有では、特にインスタントメッセージング(チャット)が流行している(次ページの表1)。キーボードでたたいた短い文章が、瞬時にしてネットワーク上に接続された仲間の端末に表示されることで、擬似的な会話を行うことができる。サーバーを介してデータのやりとりを行う設計も多いが、一度場の設定をして参加者が確定すれば、P to Pでメッセージの共有を行うことも可能である。むしろ、サーバーの混雑状況やそのほかの制限に左右されることがないため、P to Pの利点を発揮できる。

ファイルの共有

違法コピーも含む音楽ファイル、画像データなどの共有の仕組みとして、P to Pのシステムのなかでは最も利用が広がっている(次ページの表2)。参加者は、専用のソフトウェアをダウンロードしてインストールし、自身が持つファイルを任意で提供して、参加者たちで構成されるコミュニティ内で共有す

る。いくつかのコミュニティを足し合わせると、常時100～1000テラバイト（1テラは10億）もの膨大なコンテンツが共有されていて、高速回線で常時接続された一般ユーザーが主にファイルのやりとりを行っている。

コラボレーション、知識共有

分散した複数ユーザーによるコラボレーション実現の場を提供するシステムが登場している。このカテゴリーのサービスは主に企業向けに提供されており、ファイル共有、インスタントメッセージングなどの機能に加えて、ワークフロー管理機能などもサービスの一部として組み込まれている（表3）。

コンテンツ配信の共有

ファイルの共有がいわば1巻のビデオテープ単位での共有であるのに対して、放送されてくる映像信号の流れそのものをリアルタイムで共有する仕組みである（表4）。ビット単位での情報を共有の対象と考えるもので、ストリーミング配信、オンラインゲームなどが含まれる。ストリーミング配信では、コンテンツの作成元からではなく、すでにコンテンツをもつ他ユーザーのキャッシュ（高速な一時記憶装置）から再配信を受けることにより、帯域の消費パターンを平坦化してインターネットのボトルネックを解消につなげるた

表1 PtoPによるメッセージ共有の主な事例

サービス名	提供者	概要	現状	システムの特徴
ジャバー・コミュニケーション・プラットフォーム Jabber Communication Platform	蘭ジャバー社 http://www.jabber.com/	XMLベースのIM。SSLを用いた暗号化を実現	フランス・テレコムの出資やアンテボ社との提携で、IMと携帯ショートメッセージの統合サービスを提供。25万ユーザー同時接続、秒間8000メッセージ下でのテスト済み	ハイブリッドPtoP。他のIMシステムのゲートウェイ機能、ユーザー認証機能などを持つ「ジャバー・サーバー」
インスタント・メッセージングサービス	AOL、マイクロソフト、ヤフーなどの大手企業	メッセージはサーバーを介し、ファイル転送、音声チャットなど負担が大きい通信はPtoPで実行	IMのプロトコルを統合しようという動きは多数。一方で大手のネットワークに同時に接続できる互換ソフト（「オディゴ」「アイボール」）なども登場。2001年11月現在のユーザー数は、AOL約4000万、MSN2000万、ヤフー1200万	ハイブリッドPtoP。リスト部分はサーバー保有のタイプ（AOL、MSN、ヤフー）とユーザー保有のタイプ（ICQ）が存在

注）AOL：アメリカ・オンライン、ICQ：AOL社のサービス、IM：インスタントメッセージング、MSN：マイクロソフト・ネットワーク、SSL：セキュア・ソケット・レイヤー、XML：拡張可能なマーク付け言語

表2 PtoPによるファイル共有の主な事例

サービス名	提供者	概要	現状	システムの特徴
ナップスター Napster	独ベルテスマン社 http://www.napster.com/	オリジナルのナップスターは音楽ファイルに特化したファイル交換サービス。ナップスターのプロトコルを利用するものとして、ファイル交換ソフト中最大のユーザー数を誇るWinMXが存在	控訴審での敗訴、サービスの有料化を経て業績悪化、破産法申請。独ベルテスマン社が買収。現在、サービス停止。ただし、WinMXなどのナップスタークローンは現存	ハイブリッドPtoP
グヌーテラ Gnutella	米ウェゴ・ドットコム社 http://gnutella.wego.com/	中央サーバーが存在しない分散型ネットワークを形成し、ユーザー同士でじかにファイルを交換	ユーザー数は2001年12月で2万前後、ピーク時5万。現在、サービス停止。ただし、グヌーテラクローンはベアシェア（BearShare）など多数。クローンのユーザー数は2002年3月で32万	ピアPtoP

表3 PtoPによるコラボレーション、知識共有の主な事例

サービス名	提供者	概要	現状	システムの特徴
グループ Groove	米グループ・ネット ワークス社 http://www. groove.net/	ファイル交換、リアルタイムチャット、音声チャットなどを備えたコラボレーションツール	マイクロソフトから出資を受けて「.NET」に対するサポートを表明。最新版では日本語にも対応	ハイブリッドPtoP。ユーザー認証を中央サーバーで行う。デジタル署名を利用
アリエル・エア・ワン Ariel Air One	アリエル・ネットワーク http://www.ariel- networks.com/	PtoPコラボレーションツール「アリエル・エア・ワン」により、組織横断的ネットワークを志向。PtoPソフトウェア基盤のSOMAnetも開発	コンサルティング、会計システム、ソフトウェアベンダーの顧客を想定	

注) .NET : マイクロソフト社の次世代システムアーキテクチャー

表4 PtoPによるコンテンツ配信共有の主な事例

サービス名	提供者	概要	現状	システムの特徴
コンティキ・デリバリー・ネットワーク Contiki Delivery Network	米コンティキ社 http://www. contiki.com/	高速で拡張性に富む配信を提供する、ピア伝播型コンテンツデリバリー・ネットワークシステム。動画(ニュース)のプッシュ型配信	ソニー・ピクチャーズエンタテインメント、パーム、MP3ドットコム、アマゾン社などの顧客にコンテンツを配信	ハイブリッドPtoP
スコール Scour	米センタースパン・コミュニケーションズ社 http://www.scour.com/	音楽、動画、画像のストリーミング、ダウンロードができるサービスで、著作権管理を導入	訴訟により2000年10月にサービスを停止したが、センタースパン・コミュニケーションズ社が買収し、合法化	ハイブリッドPtoP

表5 PtoPによるCPU資源共有の主な事例

サービス名	提供者	概要	現状	システムの特徴
セティ・アット・ホーム SETI@home	米カリフォルニア大学バークレー校 http://setiathome. ssl.berkeley.edu/	地球外生命を探究するために必要な膨大な計算をアイドル状態のコンピュータで分散して行う。このサービスで培われた分散処理技術を企業向けサービスとして提供する「UDエージェント」もあり	350万以上のユーザーの参加によって、30テラFLOPSの処理能力を構築	分析データの配信、結果の復信については、クライアント・サーバー型
アバキ Avaki	米アバキ社 http://www.avaki. com/	広域マルチプラットフォーム(クラスターからグリッドまで)でのデータや計算リソースに対して統一された環境を提供	ウェブサービス(XML)に移行。JXTAにも参加	分析データの配信、結果の復信についてはクライアント・サーバー型

注) CPU : 中央演算処理装置、FLOPS : 浮動小数点数演算

めに、PtoP技術が取り入れられている。

(2) グリッドコンピューティング

CPU資源の共有

膨大な処理能力を要求する科学技術計算な

どに、ネットワークに接続されたパソコンの余剰CPU処理能力を有効活用しようとするものである(表5)。一般コミュニティのユーザーから処理能力を提供してもらい、その処理能力を需要のある組織に提供するという枠

組みも考えられている。

データ蓄積領域の共有

パソコンの未使用ディスクスペース（記憶領域）を集めて、分散ファイルサーバーを実現しようとする試みである。表6にあげた事例はいずれも研究段階であり、大企業や総合大学などの大組織におけるネットワーク（「ファースイト」は数十万台、「オーシャン・ストア」は数百億台のマシン）を想定している。

(3) P to Pの共通基盤

ディレクトリーおよび検索サービス

目に見える資源ではないが、ネットワーク上の資源（ハードウェアの名前や使用者の名前、提供されるサービス）の所在情報を共有するための仕組みである。従来のインターネットでも、人間が扱いやすいように英数字で書いたアドレスを利用可能にするための特別なサービスが必須だったが、P to Pでそうした所在情報をやりとりする仕組みが開発され

表6 PtoPによるディスク蓄積領域共有の主な事例

サービス名	提供者	概要	現状	システムの特徴
ファースイト Farsite	米マイクロソフト・ リサーチ社 http://www. research.microsoft. com/sn/Farsite/	使われていないパソコンのストレージを集め、分散ファイルサーバーを実現。暗号化、複数コピー、分散メタディレクトリーを有する	現在研究開発中で、製品化されていない	ピュアPtoP
オーシャン・ストア Ocean Store	米カリフォルニア大 学バークレー校 http://oceanstore. cs.berkeley.edu/	最大十数億のユーザーが安定して利用できる、共用の蓄積領域を提供する仕組みを開発中	現在研究開発中で、製品化されていない	ピュアPtoP

表7 PtoP検索アルゴリズムの主な事例

サービス名	提供者	概要	現状	システムの特徴
フォルダーズ Folders	加オープンコーラ社 http://www. opencola.com/	ユーザーの過去のウェブやメールの利用履歴からユーザーの利用傾向を判別する分散型検索エンジン	バッテリー・ベンチャーズ、モザイク・ベンチャー・パートナーズ社などから1600万ドル以上の出資	ハイブリッドPtoP。趣向に合った検索とともに、同グループの他ユーザーのフォルダーも検索
ニューロ・グリッド Neuro Grid	ニューログリッド・ プロジェクト (グループ)	学習に基づく探索経路により重み付けを行って最適化を行うことで、高効率の検索を実施	オープンソース・プロジェクトとして研究者が集まって開発中	ピュアPtoP

表8 PtoPソフトウェア基盤の主な事例

サービス名	提供者	概要	現状	システムの特徴
JXTA	米サン・マイクロシステムズ社 http://www.jxta. org/	オープンソース・プロジェクトで、P to Pアプリケーションを作成するための標準プロトコル群を提供	このプロトコル群を利用したPtoPのさまざまなジャンルのプロジェクトが始動	ハイブリッドPtoP、ピュアPtoPのいずれにも利用可能
SOBA	京都大学数理解析研 究所 http://www.soba- project.org	セッションと呼ばれるネットワーク仮想共有空間上で多様なコミュニケーション形態を提供するアプリケーション群のためのフレームワーク。JAVAを使用	2002年7月現在、版開発メンバーを募集中。京都大学、早稲田大学のプロジェクトとの共同研究企業も募集	ハイブリッドPtoP、ピュアPtoPのいずれにも利用可能

ている。具体的には、リソース自体に位置情報を与え、効率の良い検索を可能にしてリソースを見つけるために利用する（表7）。

ソフトウェア基盤

P to Pアプリケーションの開発に必要な環境（プロトコルなど）を提供するフレームワークである（表8）。「JXTA」のように、種々のP to Pプロジェクトを巻き込んで、P to Pでの標準の確立を目指しているものもある。

2 企業内P to Pと

コミュニティP to P

用途もさまざまで、共有する対象範囲も広いP to Pだが、もう1つ考えておかなばならないのが、P to Pの利用者の性質である。利用者グループの規模や変化の激しさ、匿名性などの観点から見ると、比較的小規模な企業内組織とインターネット上の大規模仮想コミュニティが対極にあり、全く性質の異なるP to Pのシステムを利用し始めている。

主に企業や組織を対象としたP to P（企業内P to P）の応用分野は、数人から数百人のグループへの適用を想定していて、ピア同士の間には変化が少ない。したがって、セキュリティ対策やピア間通信の方式には、ファイアウォール内のイントラネットを想定し、比較的単純ではあるが安定度の高いモデルが求められる。

一方で、インターネット上の仮想コミュニティでのP to Pでは、グループの規模も最大で数百万人以上になる可能性もあり、かつ絶えず入れ替わりがあるという点で、企業組織とは異なる。こうしたコミュニティ型のP to Pは、それほど厳密な運用が求められない個人間の資源共有を対象とし、通信方式にも工

夫が求められている。

3 P to Pの技術的課題

著作権、ビジネスモデル、情報に対する社会的責任など、実社会における問題点については後に述べるとして、ここでは技術的な観点から現状と課題について整理したい。

前述した事例のほかにも、さまざまなP to P方式を採用した試みが行われているが、共通した特徴は、厳密な運用を求められない分野を対象としていることである。

サーバーとネットワークの管理を厳密に行うことによって、システムの信頼性を確保できるクライアント・サーバー方式の設計とは異なり、P to Pにおけるシステムの信頼性は「数の論理」に頼っている。すなわち、無数の集団で狩りをするアリと同じで、一つ一つのピアの信頼性は貧弱でも、同等の役割を代替できるピアが多数用意されていれば、全体としてのシステムの信頼性は確保できるという考え方である。

しかし、システム設計時の不具合など、全部のピアが同時に影響を受けるような事象に対しては、数の論理が当てはまらないため、事前に十分に動作を検証する努力が必要となるが、そのための方法論が不足している。

また、どの方式のP to Pでも、リソースの分担方法や通信する相手を順番に選ぶ方法が十分に検証されていないと、同じ相手とばかり通信を繰り返して閉鎖された系を構成してしまうなど、重大な機能障害につながる可能性がある。負荷分散を狙って導入したP to Pだが、逆に特定のノードにアクセスが集中してしまうことも考えられるため、ピア間の通信の頻度や処理の分担方法などに十分な配慮

をする必要がある。

このような問題に対処するために現在求められているのが、P to Pの設計方式を机上でテストできるシミュレーションの技術である。クライアント・サーバー方式と異なり、多数のピアが参加したシステム全体としての挙動を検証する必要があるが、現実には多人数の実験を十分な回数行うことは難しいので、ある設計方式を検証したり、設定値を調整したりするために、効率の良いシミュレーションが必要となる。

掲示板型メッセージ共有 システムの開発と実験

1 掲示板型メッセージ共有 システムの問題点

P to P方式の有効性を検証し、実践を通して論点を探るため、NRI野村総合研究所では京都大学大学院で運営している産学連携の研究分野（情報学研究科社会情報学専攻市場・組織情報論分野）に所属する学生の研究課題として、掲示板型のメッセージ共有システムを取り上げた。

前章で述べたチャット型メッセージ共有システムでは、場に同時に参加している者同士に限ったメッセージ共有を基本としている。これに対し、任意の時間にアクセスして、メッセージを残していく蓄積タイプの掲示板も広く使われており、企業内における電子的な議論や、オープンなインターネット上でのコミュニケーションの場がサーバー上で提供されている。

今回、チャット型ではなく、蓄積型の掲示板システムをP to P方式により実現する実験

を行ったのは、その場に居合わせない人でも簡単に議論に参加することができ、また、そこで構成されるコミュニティの大きさも数人から数万人までと、幅広いコミュニケーションができるからである。実際、国内のインターネット上では最大数百万人が参加する掲示板システムも運営され、1日に最大1000～2000万回のアクセスが行われている。

サーバーに依存したシステムの限界点近くで運用されているため、システム障害でたびたび停止せざるをえないサービスもあり、サーバーへの依存度を何らかの形で低減させ、資源利用の集中を避ける仕組みが求められている。そこで、このようなサービスにP to Pを適用することの効果を探ることを目的に、試験システムの開発と実験を行った。

2 P to P掲示板型メッセージ共有 システムの開発

今回の開発と実験では、単純な動作原理で稼働する掲示板型メッセージ共有システムを作成し、実際に多人数が参加して試験運用することで、システムの挙動を調べた。

作成した実験システムは主にC言語で実装され、リナックス（基本ソフト）を動作プラットフォームとしている。動作原理は単純で、各コンピュータ（以下、ノード）が、順次仲間のコンピュータを巡回して通信を始め、メッセージのID番号を見て、自己に欠けているデータを複写して取り込む。この動作を繰り返すことで、参加するコンピュータ全体が同一のメッセージを共有できる。

今回の方式は、すべてのノードが全く同じデータを保持する完全レプリケーション（複製）モデルである。これ以外にも、状況に応

じて各自の興味のあるデータだけを一定のルールで選別して蓄積するフィルタリングモデルなど、より効率的なモデルが考えられるが、今回は動作の検証を目的として単純なモデルを採用した。

各ノードは次の3つのモジュールで構成される(図2)。

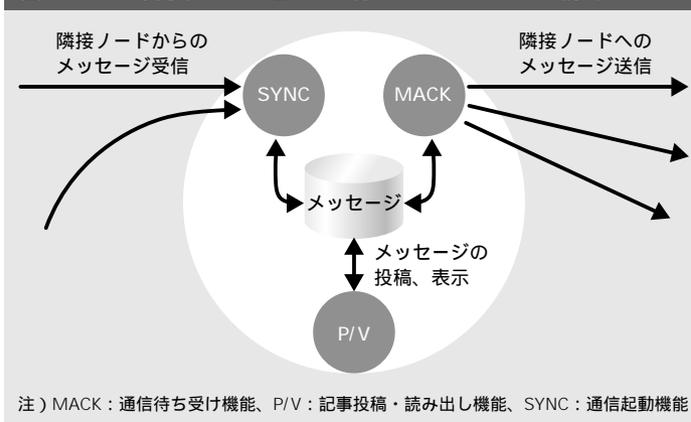
P/V (Post/Viewer : 記事投稿・読み出し処理機能) ユーザーからのメッセージの投稿、自身のノードで保持されているメッセージの表示といった要求を扱うユーザーインターフェースを提供する。

SYNC (SYNChronizer : 通信起動機能)

ランダムな間隔で他ノードのMACKとの接続を確立して、自身のノードに保持されていないメッセージがあれば、そのメッセージの送信を要求する。

MACK (Messaging Auto Communication Kit : 通信待ち受け機能) 通常は他ノードのSYNCからの接続を待っている状態で、接続の確立後は保持してい

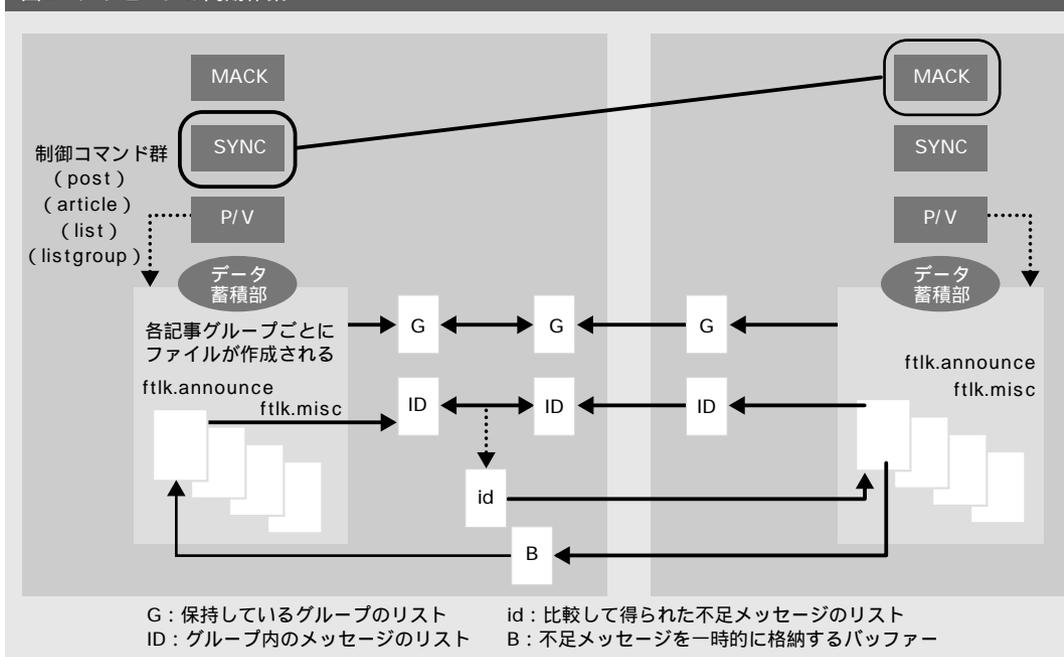
図2 P to P掲示板型メッセージ共有システムのノードの構成



るメッセージのリストや要求されたメッセージを送信する。

ネットワーク上でやりとりされるメッセージは、「ヘッダー」「(メッセージの本文である)ボディー」「(ヘッダーとボディーの間の)空行」の3つで構成され、現在インターネット上で広く用いられているネットニュース(ネットワーク・ニュース転送プロトコルによるニュースシステム)の形式にできるかぎり近づけて設計した。この書式に従った各メ

図3 メッセージの同期作業



ッセージは、メッセージを格納するための保管スペースに保存される。

前ページの図3に示すように、ピア間で通信が行われ、メッセージが同期する。保存されたデータを通常のウェブブラウザ（検索・閲覧ソフト）でアクセスできるようにするために、P/Vモジュールがデータを変換してユーザーに提供する。その結果、普通のウェブ掲示板とほとんど変わらない操作感で、サーバーに依存しないP to P掲示板を運用することができる。

3 P to P掲示板型メッセージ共有システムの実験結果

蓄積型メッセージ共有システムの動作を検証するため、被験者として50人のユーザーを公募し、メッセージのやりとりをしてもらった。参加者は、チャットなどのコミュニケーションサービスの会員で、日常的にこうしたシステムを使い慣れている。

今回は、煩雑さを避けるため、2台の高性能なパソコン上にそれぞれ25個のユーザーの実行環境を持つ擬似環境で実験を行った。この環境下で、ユーザーはインターフェースとしてのブラウザだけで、インターネットに接続した状態ならどこにいてもメッセージの読み書きができるようになる（図4）。

12日間の実験期間終了後、すべてのメッセージがすべてのユーザーに伝わったことを確認し、分析を行った。今回作成されたシステムは、いわば伝言を繰り返すことで、すべてのユーザーにデータが伝わるという原理である。1つのメッセージが、何人の伝言者を通じて届いたのかを計測することで、システムの状態の一部を確認できる。多くの伝言者を介さないとメッセージが伝わらないシステムは、メッセージの到達に時間を要し、それだけ信頼性が低くなる可能性がある。

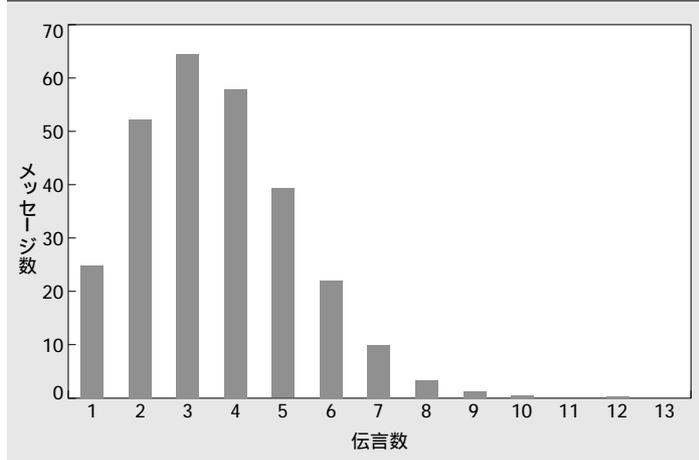
実験結果からメッセージがたどった経路を分析すると、メッセージは平均して3.5回の伝言で完全に共有できているという結果が得られた。最悪は、12回の伝言を要して相手に到達しているが、これは1回だけのまれなケースである。図5は、到達するのに要した伝言の数と到達したメッセージの数（50人の平均値）の関係を表したものである。

この値は、実験参加者の数や、各パソコン

図4 掲示板の画面の例



図5 メッセージの共有に要した伝言数



の能力、ネットワークの速度などの条件によって左右される。しかし、今回の実験期間中に、メッセージの配信が集中した期間とそうでない期間とで、平均経路数に有意な変化は見られなかったことから、P to P型設計によって安定して実用的な蓄積型メッセージ共有を行える可能性を示すことができた。

P to P型設計の 社会経済的論点

1 組織におけるP to P応用の 経済的効果

P to P型設計によって平均的なパソコンを分散・協調させて使うことで、今までは高価で高性能な機械と、ユーザー側の数百倍の帯域消費に耐えられるネットワーク、そして24時間体制の運用管理を備えたサーバーでしか提供できなかったようなサービスを実現できることが示された。第 4章に示したようなP to Pの分類それぞれで多少の違いが考えられるものの、P to Pの応用対象として、主として企業などの特定の組織を対象としたシステムを考えると、P to P型設計の利点は以下のようにまとめることができる。

管理運営コストの低減

P to P型設計が正常に動作すると、サーバーへの依存度が少なく、各ピアの役割は代替可能という性質から、厳密なサーバー管理に要するコストを削減できる。

システムの全体としての安定性

P to P型で少数のサーバーに依存しない設計を採用することで、システム全体としての安定性が向上する。ただし、システム設計に起因する本質的な誤動作や、局所的な動作不

安定など、防ぎきれない要素も考えられ、厳密な信頼性が求められる用途には、十分な検討が必要だろう。

システムの拡張性

これまでサーバーに課せられていた資源利用の一極集中を避けられるので、より大規模な単位でのシステムを動作させることができる。例えば、第 4章で紹介したファイル共有などがその好例だろう。

遊休資源の活用

共有する仕組みを持つことで、遊休資源として眠っている余剰計算能力や、パソコン上の領域を集めて、スーパーコンピュータ並みの仮想計算機や、巨大なデータ蓄積のためのスペースを作り上げることが可能である。厳密性が求められる運用には適さないが、バックアップのための資源として活用するなど、さまざまな応用が考えられる。

以上の4点から示される企業組織内でのP to Pの有効性と同時に、システム構築に関するノウハウの不足や、設計時の方法論の不在が問題となる。また、ユーザー側のシステムの運用に対する意識が高まっていないと、全体としての運用に悪影響を及ぼしかねない。

2 現行社会システムに及ぼす

P to Pの影響

「WinMX」のように、巨大なファイル共有システムが自発的に成立し、管理者不在のまま現実に運用されていることを見ても、P to P型設計の効果は大きい。この技術が広く利用されるためには、現在確立している社会の他の仕組みと共存できるかどうかが鍵となる。この点で、P to Pには以下のような論点はまだ残されており、一部は解決に相当時間

がわかりそうである。

(1) 知的所有権の問題

ナップスター問題で昨年から話題になっている著作物の違法コピーの問題は、P to P型設計と高速インターネットの普及とが相まって、従来型の著作権管理の仕組みとはなじまないサービスが提供されたことに起因する。実はこのような違法コピーは、クライアント・サーバー方式でも盛んに行われていたのだが、P to P方式の利点を活かすことにより手軽に、かつアクセス集中による速度低下などの影響なしに、コピーが行えるようになったことがきっかけである。

クライアント・サーバー方式では、サーバーの管理者にコピー行為に関する責任を必ず問うことができた。一方、サーバーへの依存度が少ないP to P方式では、責任の所在を明確にするために多大なコストが必要になる。

(2) 情報発信に関するプロバイダーの責任の問題

反社会的なメッセージ(特定個人・組織に対する誹謗中傷や薬物、テロ行為関係など)についても、知的所有権と似たような構造で、その管理責任を追及する相手を探すことが、P to P型設計では一般的に難しくなる。

今回の実験で作成した蓄積型メッセージ共有システムでも、いったん共有され始めた情報を削除・修正するためには、特別な仕組みをあらかじめシステムに組み込んでおく必要があったが、このことは多くのP to P型設計に当てはまる。また、悪意による改ざんや事故による情報の欠落などに関しても、十分な配慮を行う必要が出てくる。このため、デジ

タル証明などの認証技術の重要性が、P to P型設計では大きくなる。

クライアント・サーバー方式の掲示板システムでも、個人のパソコン上に記録として残った情報までを削除することはできない。しかし、サーバー上から消去することで事態が収束したとする社会的な合意がほぼ確立している。P to P方式では、社会的合意の対象となるような明確なポイントが見出しにくいので、事態はいつそう混乱すると思われる。

(3) 資源共有に伴うセキュリティ、プライバシー確保の問題

CPU資源やディスク領域の共有など、P to P方式でのシステムは、予期しない動作も含めて、パソコンの意図的な誤動作や情報の漏洩を引き起こす潜在的な危険性を捨てきれない。ナップスターなどのファイル共有ソフトでは、ネットワーク上に公開して共有するための領域を指定し、それ以外の領域は見えないような設定をすることができるが、ソフトウェアの誤動作やユーザー本人の誤った設定、他の侵入手段との組み合わせにより、その危険性が顕在化することも考えられる。

(4) 資源共有に費やされるコストと効率、安定性の問題

今回の実験では、共有すべきメッセージの到達効率として必要経路数を調べ、平均3.5経路という値を得た。しかし、参加人数や共有方式の違いによりこの値は変化し、場合によっては十分に効率的な資源共有ができなくなる可能性も否定できない。また、十分な信頼性があるかどうかを検証するためには、P to P方式では効率的な手段が用意されていな

いため、実際に実験を行うか、十分なシミュレーションを行う必要がある。

例えば、必要となる経路数に関して、米国の心理学者スタンリー・ミルグラムが1960年代に行った先駆的な実験が、P to P方式の情報システムを分析する視点として再評価されている。「小さな世界（スモールワールド）現象」と呼ばれるこの実験は、米国の中西部と東海岸に住む全く面識のない2人の間で、ファーストネームで呼び合う知り合いだけを經由して手紙をやりとりするというもので、6人程度の中継によって手紙が届いたという結果が得られている。

厳密にP to P方式設計の信頼性を評価するためには、人間を介在させた理論的な分析を行う必要がある。とりあえず動作しているという実績主体の評価だけでは、P to P型設計の応用対象も、信頼性の要求度の低い分野に限られてしまうだろう。

3 P to P型設計の示すもの

P to P型設計の情報システムは、ほとんどクライアント・サーバー型設計一色に染まっているシステムに新しい発展の可能性を示している。しかし今のところ、研究開発の段階にあるシステムが多く、商品となって提供されているものも、その有効性を十分に証明できたものは少ない。

今後、シミュレーションや動作原理の分析手法など、ノウハウが蓄積されてゆけば、定番となる設計論も確立される。これに伴い、システム運営の負担と責任はこれまでのように管理者のみが負うものではなく、ユーザー一人一人の側に重くなってくるだろう。

一方で、P to Pのシステムが普及することで、知的所有権や情報に関する責任の所在など、本格的な情報化社会を迎えて初めて問題点が明確化するような事例が増えることと思われる。これらも総じて、情報技術を利用する一人一人の姿勢が問われるようになる。社会性の面で健全な合意なくしては、技術的には成立しても、一般には受け入れられないシステムとなってしまう。

P to Pは、クライアント・サーバー型システムの限界を超えた巨大な情報システムや、より現実の人間関係に近い知識交換のコミュニケーション手段をつくり、健全に運用するための大きな役割を果たすと思われる。しかし、特にユーザー側に、これまでの情報システムとは全く異なる利用のための意識改革が求められるシステムであるともいえ、今後の動向が注目される。

参考文献

- 1 T. W. Malone and R. J. Laubacher, "The Dawn of the E-lance Economy," *Harvard Business Review*, September-October 1998
- 2 S. Milgram, "The small world problem," *Psychology Today*, 1, 1967
- 3 N. Minar and M. Hedlund, "A Network of Peers," in *Peer-to-Peer: Harnessing the Powers of a Disruptive Technologies*, O'Reilly & Associates, 2001
- 4 田中祐一郎「Peer to Peerアーキテクチャのメッセージ共有への応用」京都大学修士論文、2002年

著者

横澤 誠（よこざわまこと）

情報技術調査室上席研究員、京都大学大学院客員助教授

専門は社会情報学、市場情報論、組織情報論