

P2P 技術およびビジネスの展望

清野 浩一

1. はじめに

インターネット利用法の新しい潮流として、ネットワークに参加する端末・装置や個（ピア）の間に「対等でゆるやかな関係」を形成し、情報や知識を共有したり、作業を協調して実行する形態が着目されている[1]。この新しいパラダイムは、ピア（Peer）とピアが連携するということから、Peer-to-Peer（P2P）と呼ばれている。従来のクライアントサーバ（C/S型）方式における負荷や管理の集中ポイントの存在という問題の解決や、C/S型とは異なる新しい適用分野への応用が期待されている。

ここでP2Pの定義を考えると、世の中では様々なことがいわれており現状では確定的なものはない。広義には、「ネットワーク上の端末がリソースまたはサービスを直接共有する仕組み」であるが、本稿では、負荷が集中する中央サーバを持たず端末同士が対等に通信し、端末が中央サーバに頼らない自律性を持ち端末がサーバの役割も同時に担うと考える。すなわち、P2PはC/S型に比べ、ネットワーク上の役割の均等化・分散化を意味する。

ビジネス面を見てみると、P2Pは重要かつ新しい観点として多彩な取り組みが進められている。P2Pは、個人の私的な利用から始まり、現在はエンタプライズ向けを中心としたP2P製品やビジネスのフレームワークができつつある。しかしながら、サービスプロバイダが公衆（マス）向けに提供するサービスイメージについては具体化されておらず、今後、大規模化やビジネスモデル確立への取り組みが必要とされている。

本稿は、まずP2Pの技術的な位置付けや市場動向を述べた上、主要なP2P実現方式をサーベイする。その中でも、意味情報ルーチングで適切なピアを検索

し、種々のアプリケーションに適用可能な汎用P2Pプラットフォームとして特徴を持つNTTのSIONet（Semantic Information Oriented-network）[2]を取り上げる。その技術面の特徴、C/S型置き換えや新規分野を見据えたビジネス面の応用を示した上、将来的な展望、課題などを述べる。

2. P2P技術の位置付け

2.1 インターネットにおけるP2Pの位置付け

初期には研究者などスキルの高い限られたユーザのみで使用されていたLAN間のネットワークが、Personal Computer（PC）の価格やネットワーク料金の低廉化とWorld Wide Web（WWW）の出現により、インターネットとして爆発的に拡大した。この段階では、サーバを中心にクライアント端末であるユーザPCからの情報の検索やコンテンツのダウンロード要求を集中的に管理するという形態が情報取得手段として定着した。さらに最近のPCの性能向上やネットワークの高速化・常時接続の拡大により、個人同士が直接情報やコンテンツをやりとりするP2P型のパラダイムにシフトしつつあり、ファイル/コンテンツ交換、インスタントメッセージ（IM）、ゲーム等などの利用形態が増加している。ただし、このP2PがC/S型を置き換えていくということではなく、個人による有料コンテンツや情報発信を進めていくため認証や課金などを中心に、サーバ的機能も依然重要であり、両形態が共存した形で発展していくと考えられる。

2.2 現状の市場動向

(1) ユーザ動向

米国では、ブロードバンド接続環境を持つ家庭や若年層を中心に個人的写真、ビデオ等のファイル共有、オンラインゲーム、チャット、インスタントメッセージなどP2P的利用が拡大している。特に、ファイル共有については、Napster、FreenetなどによるP2P型ファイル交換が爆発的普及（1999年のNapster最盛期は6,000万超のユーザ）をとげ、「P2P」という

せいの こういち

NTTネットワークサービスシステム研究所
〒180-8585 武蔵野市緑町3-9-11

用語やコンセプトが一般に認識されるようになった。しかし、Napsterなどは、著作権に関する係争が続き、廃業した。インスタントメッセージについては、2002年6月のNielsen・NetRatings社の調べによれば、AOL Instant MessengerとMSN Messengerなどをはじめに、米国内で5,000万以上のユーザ数を有している。

(2) 製品化動向

表1に、P2Pの製品化動向についていくつかの例を示すがそれ以外にも、P2Pの応用分野の種類に応じて、種々の製品や研究プロジェクトがある。

(3) ビジネスの方向性

現状ではエンタプライズ向けソリューションや個人の趣味的な使い方がメインであり、今後マス向け展開が期待されている。マス向けビジネスの柱としては、1件あたりは小額でも多数のユーザから継続的に収入を得られるコンテンツ配信サービスが有望と考えられる。従来は不正な使われ方が問題視されていたが、著作権管理等を考えた信頼感のあるサービス提供がより重要である。

その他今後伸びると考えられるビジネスは、ネットワークゲーム、移動体端末上での展開、プレゼンス(コミュニティ参加メンバのプロパティや現時点の環境に応じて適切な通信状態を提供する技術)、市場取引などがあげられる。いずれにせよ、P2Pは手段であって目的ではなく、ターゲティング、ニーズの把握を十分考慮の上、ビジネスを構築すべきである。

3. P2P 実現技術

P2Pは、不特定多数の中から適切なピアを見つけ、発見後はピア同士で直接コンテンツやジョブのやりとりをする方式である。最初のフェーズは「ディスカバリ」、後のフェーズは「デリバリ」と呼んでいる。両者がはっきり別れた製品/研究プロジェクトもあるが、両者が不可分になっているタイプのものもある。このため、比較しにくい点もあるが、以降の節にて、具体的なP2P実現技術について述べていく。各技術は文献[1, 3, 4]も参照されたい。

表1 P2P 製品化動向

分野	製品動向
コラボレーション、グループウェア	Groove(ファイル・スケジュール共有等を含め完成度が高い)が高い市場占有率をもっている。また、Endeavor社なども運用性・スケーラビリティの高い製品を出している。アリエルネットワークス社が日本発のP2Pアプリケーションを発表。
ファイル共有	Gnutella, Napsterの派生製品で非ビジネス対応が多かったが、AudioGalaxyなどマス向け対応も出ている。しかし著作権対応が依然問題となっている中、Endeavor社、Flycode社など、著作権管理機能対応も考えたシステムを構築している。
コンテンツ配信	キャッシュとP2Pを組み合わせた技術によりコンテンツ配信製品やサービスが出現している(Kontiki社、eMikolo社、Yaga社、CenterSpan社など)。NextPage社とOpenCoia社は、P2P分散サーチとコンテンツ配信を組み合わせたプラットフォームを提供。
分散サーチエンジン	OpenCoia社が、エージェントにより自動的にInternetからファイルをロードするシステムを発表。Pointera社など、強力な検索能力を持つ製品も出現(ダウンロードしたファイルがピア間で合法的にシェアされる)。
分散コンピューティング	SETI@Home(UCB大学)が学術的利用を目的に分散コンピューティングを提唱。United Devices社、Entropia社等多くの社が参入してビジネス化を進めている。早期ビジネス展開組の中には不採算を理由にP2Pから撤退した会社もある。
プラットフォーム、インフラ	・P2P ConferenceにてBill JoyがJXTA構想を発表、01年4月末にJXTA基盤部ソフトを無料で配布。Avaki社、iMulet社、eMikolo社、Endeavor社、Internet Access Methods社、Consilient社、IAM-Online社等がJXTA利用のアプリケーションシステムを発表(商品化)。 ・Endeavor社、スカイリーネット社などは携帯電話、PDA上での軽量P2Pインフラを製品化。

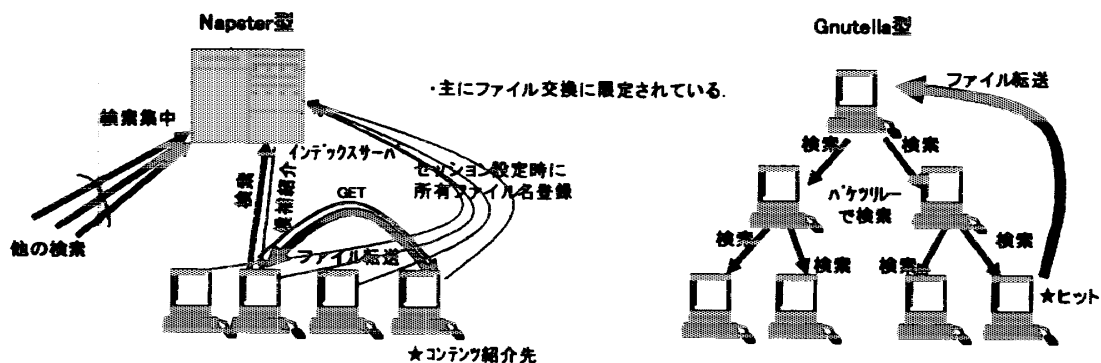


図1 NapsterとGnutellaの原理

3.1 ディスカバリ技術

(1) Napster

P2Pを有名にしたこの方式/サービスは、ファイル共有を行いたい端末が参加し、セッション設定すると、それぞれの持つファイル情報がインデックスの形でサーバ（インデックスサーバ）に格納される。この情報により、検索を行い、端末同士で直接ファイルを交換する（図1）。サーバに検索用のパケットが集中しやすい。ディスカバリが集中サーバ形式であるので、ハイブリッド型（中央集中型）のP2Pとして分類される[1]。

(2) Gnutella

本方式は、参加する端末がコンテンツ所有者であり、検索パケットの中継者でもあるのでピア型のP2Pとして分類される。ファイルを検索したいピアは隣接のピアに検索パケットをバケツリレーする。一つのピアが最大四つのピアに検索パケットをリレーし、ホップ数が通常7段（重複がなければ21,845（1+4+16+...+16,384）ピアが検索対象）になるまで検索がなされる。検索ヒットしたピアとの間でファイル転送がなされる[1]。

(3) JXTA[5]

JXTAはSun Microsystems社が、今後のP2Pの核技術となるべく提唱したアーキテクチャである（図2）。種々の構成要素を持つが、ディスカバリ機構に着目して説明する。

- ・グループにピアが入るときに、自分の存在を、LAN内マルチキャストを用いて、グループ内の各ピアにアナウンスする（ピアからは1パケットの送信だが、ルータが複製して他ピアに送る）。これにより、通常各ピアはおおよそ他のピアの存在を知っていることになる。
- ・上記の状況で相手がわからない場合、ディスカバリを実行する。この場合、近くのピアに対してマルチキャストでディスカバリメッセージを送信する。

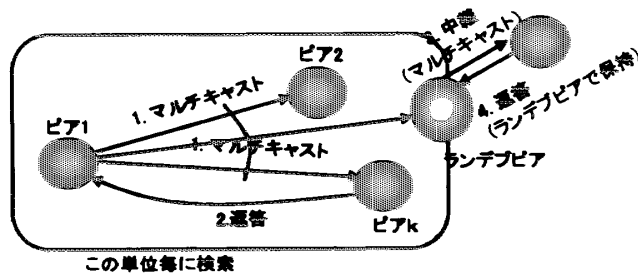


図2 JXTAの原理

- ・マルチキャストを超える範囲では、ランデブポイント（これもピアであり、ランデブピアと呼ばれる）を用いる。ランデブピアは、ディスカバリメッセージが来たら、即座に、自分が持っている他のピアの情報を返す。その後、ディスカバリメッセージを中継する。ランデブピアで中継されたディスカバリメッセージに対する返答は、ランデブピアで留まり、次のディスカバリメッセージのランデブピアからの回答に用いられる。
- ・JXTAは上記(1)、(2)のファイル検索を主にした方式と異なり、汎用的なディスカバリが可能である。なお、JXTAでは、まず超えるべきスケラビリティの目標値としては、ピア数150,000個を掲げている[6]。

(4) 意味情報ネットワーク SIONet

汎用的なP2Pプラットフォームとして、NTTが研究開発している方式である（図3）[2, 7]。意味情報に基づいて、検索パケットを配送するネットワークで、不特定多数の中から求めるプロパティに適合するピアにパケットを届ける。

- ・SIONetの意味情報ルーチング機能（意味情報スイッチ）は、ピア型で用いる場合は各端末に搭載され、ハイブリッド型ならばいくつかの特定端末に搭載され、各端末からアクセスされる。複数のスイッチが連携して意味情報ルーチングを実現する。意味情報パケットの波及する範囲は、プロパティに応じて論理的に区切ることができる（イベントスペース（EP））。
- ・各ピアは自分の嗜好情報などの属性をメタデータ（メタデータ）の形で直近のスイッチに登録する。このメタデータは語彙概念と値の構造体であり、語彙概念が新しく登録された場合のみ他の全スイッチに伝えられる。

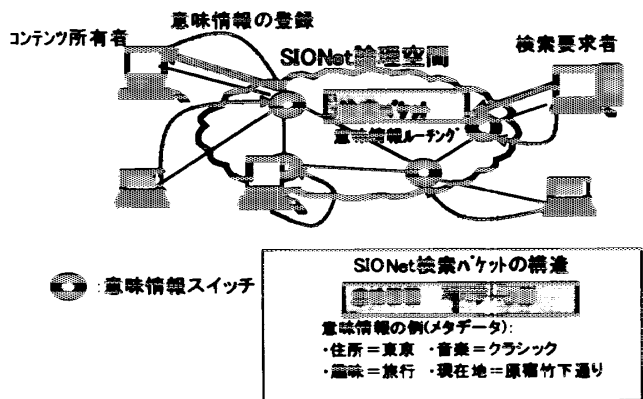


図3 SIONetの原理

・この手順により、あらかじめ求める語彙概念がどのスイッチに存在するのか分かるので、SIONet パケットを受信したスイッチは、該当するスイッチにのみ選択的にパケットをリレーする。最終的に語彙概念を持つスイッチでは値をチェックして、マッチした場合に着信させる (Gnutella と異なり、宛先を絞っている)。

(5) 分散ハッシュを用いたディスカバリ方式

上記の(1)~(4)の手法は、基本的には、全てないしピアの集合体を全網羅検索していく方式 (フラッディング方式) で、曖昧な情報 (意味情報や部分マッチングなど) を用いてのディスカバリに適している。一方、確定した情報を効率的に配備して、検索を高速に行いたい場合には、分散ハッシュテーブルを用いる方式がある。発見したいファイルネームが確定している場合や、JXTA のピア ID のように確定している情報がどこにあるかを、ディスカバリするのに、適している。

例えば、Freenet (図4) では、ハッシュを用い、Gnutella に比べ高度なファイル検索を提供する機能を実現している。Gnutella の検索数が最大 21,845 に対し、20 万のスケラビリティ (理論値ではなく経験値) を持つ。Freenet はファイルにキー情報を付与し、これをハッシュで管理する。ディスカバリを要求するピア(A)は、キーをまず自分のローカルキャッシュで探し、ない場合にはそのキー情報に最も近いピア(B)にルーチングする。そこにもない場合さらに次善のピア (C、次に E→F、そして E→D) にルーチングする。現状のアルゴリズムでは検索成功時にキャッシュの変更を行うのみであるが、検索失敗情報もルーチング情報として反映することで検索効率を上げる (検索パス長を大幅削減する) 研究が進められている [8]。

また、ハッシュ関数の次元やハッシュ関数に与える情報を異なるものとする事で、MIT の Chord [9] や UCB の CAN [10] といった研究プロジェクトも進ん

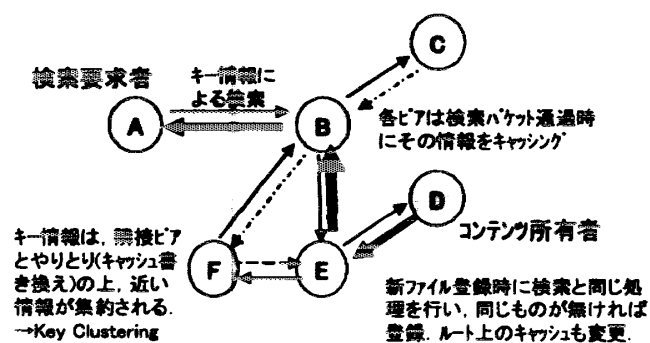


図4 Freenet の原理

でいる。これらの研究的知見は、JXTA における発見機構に取り込まれつつあるなど、実システムへ次々と生かされつつある。

3.2 デリバリティ技術

(1) プロトコル

ディスカバリにより適切なピア同士がマッチングされた後、直接コンテンツ転送やジョブを実行するデリバリティ用の通信路が必要となる。ここでは、独自のパイプを定義しているケースもあるが (Napster, Gnutella, JXTA 等)、なるべく汎用的なプロトコルを用いた方がユーザの利便性を向上できる。特に、インターネットサービスプロバイダ (Internet Service Provider (ISP)) によっては、途中 IP パケットが流れるルート上、Web に使われるポート (HTTP ポート) しか開けていないプロキシ等が存在する場合があるので、HTTP の利用が望ましい。

(2) セキュリティ対策

常時接続のピアがセキュリティアタックを回避するために、宅内ルータによるファイアウォール (FW) の使用が増えると考えられる。この形態において、ユーザピアからアクションを起こす場合は問題ないが、外側からのアクションはパケットフィルタリングにより防御され、ピア間通信ができなくなってしまう。このため、オープンな場所にランデブポイントを設置し、ユーザピアから一定周期でログインするなどの対策が必要となる。

(3) サービス品質・トラヒック制御

ストリーミング等、ピア間通信を安定した品質で実行したい場合には、帯域や遅延を保証できるセッションをネットワークサービスとして制御する必要がある。一つの方法としては、セッションイニシエーションプロトコル (SIP, IETF RFC 2543) により、ディスカバリの結果ペアリングされたピア間に帯域保証等のトラヒックパラメータを保証するセッションを設定する方法がある。

(4) P2P トラヒックに対応したネットワーク設計

サーバに対してクライアントからのアクセスが集中する従来の C/S 型の通信形態から、P2P 時代にはピアとピアの通信が主流になっていく。しかし、論理的にはピアが平面的・対等に配備されていても、実際の IP ネットワーク上では、地域アクセス網の集約ポイントが存在することや、日本においては東京向け回線が集中する問題など、物理的には対等でない場合がある。このため、ネットワーク設備の効率的利用

(ネットワーク運用者の視点)とデリバリ時間短縮(ユーザの視点)を図れるよう、空間的にも時間的にも「近い」ピアを紹介できるようにすべきである。ディスクバリ用のプロパティ(意味情報)として、物理ルート候補の優先度(過去のデリバリ実績から)を用いたりするなどネットワークトポロジ上の距離が近いノードを選択する方法や、物理ネットワークにおける遅延・ジッタ・平均リンク負荷の状況を判断し、それらを削減できるようにディスクバリ候補紹介の抑制や最も有効なルートの紹介を、ディスクバリ機構と連携して行う方式の確立が期待される。また、複数ピアから同一ファイルの異なる部分を並行してダウンロードする処理に、通過経路の帯域の状況を反映させるなどの分散ダウンロード方式の検討も重要である。

3.3 分散コンピューティング

個人の持つPCの遊休のCPU能力を利用して、ネットワークワイドな形態で、大規模な計算パワーを実現する計画・サービスも、P2P分野として認識されている。本来は、その通信形態からP2Pではないが、C/S型のように、「サーバが主な仕事をする」という形態ではなく、「ピアが主体的に仕事を行う」という意味で、P2P分野と認識されている(正しくは、C/Sモデルではなく、Master-Workerモデルと呼ばれる)。この代表的な例が、UCBにサーバがおかれているSETI@homeである。これは、地球外の星から送出され、地球上で受信された電波の波形を、解析することにより、その電波が、知的生命の活動により発生した電波であるか、恒星・惑星・衛星から自然現象として発生した電波であるかを、判断するものである。同様のプロジェクトとしては、治療に効果のあるタンパク質を発見する、United Device社などのプロジェクトがある。

本分野は、スーパーコンピュータのように、1箇所に密結合したハードウェアで細粒度の並列計算を行う計算対象には、現状不向きとされている。これは、分散コンピューティングの能率が、計算能力と通信能力のバランス、つまり、どの程度の計算を行った後に、どの程度の通信を行うか、というバランスに依存するためである。よって、適材適所を踏まえた適用を考えていくべきである。

4. P2P ビジネスの展望と実現例

P2Pのビジネス化は、P2Pの特徴であるサーバレス化の観点から、既存のC/S型ソリューションの

コストを引き下げるアプローチ、そしてピアが連携してコミュニティスペースを作れるということから既存にない新しいサービスの創造というアプローチがある。節2.2に示した通り、コラボレーション、ファイル共有、分散コンピューティング等の各分野で様々な製品化がなされている。今後は分野を融合し、様々な付加価値を持ったソリューションが望まれているので、本節では特に、汎用的なP2PプラットフォームであるSIONetを用いたP2Pサービス実現例について示す。

4.1 C/S型の置き換え

企業のオフィス内のユーザに対し、メンバ間でファイル共有やファイルバックアップを外部の集中型ストレージによりサポートし、オフィス内・出先・自宅でファイルにアクセスできるようにするストレージサービスの利用者が伸びている。この形態において、P2Pの考え方を入れると、ストレージのディスク容量、処理負荷、回線負荷を大幅に(数分の一に)低減することが可能である。すなわち、オフィス内ピア同士ではファイルの直接交換を行い、退社時や出先での利用をする場合にのみストレージを利用するようにすることで運用・設備コストを削減する。同時に、これらユーザに対して、単なるファイルの管理以外に情報共有、チャットなどのメンバ間協調機能を提供することにより、グループウェアが可能なストレージサービスとして、トータルな魅力を増大できる。

4.2 データベース連携

医療データベースや図書館データベース(DB)のように、既に個々の組織毎に構築され、個別に運営されているようなケースにおいて、より広い範囲で情報の共有やコラボレーションを図っていきたいという要求がある。例えば、医療DBでは、大学や大病院等の組織毎で系列化されており、そのエントリ(医師の情報)は個々のDBで管理され、人事異動等による内容変更はその組織で処理される。このため、DBの管理範囲を超えて統合するのは、組織的にも処理的にも負荷が大きい。このようなケースにおいて、既存のDBシステムを活かしつつ、情報自身を他DBから引き出せるようにするため、P2P技術により連携することが考えられる(図5[11])。

4.3 口コミ型コミュニティの形成

口コミ情報は、一般社会においても商品購入時の判断の一助になったり、マイナーな商品(音楽作品含む)のヒットにつながるものがしばしばある。この口コミ型情報伝搬の特徴を持つコミュニティシステムは

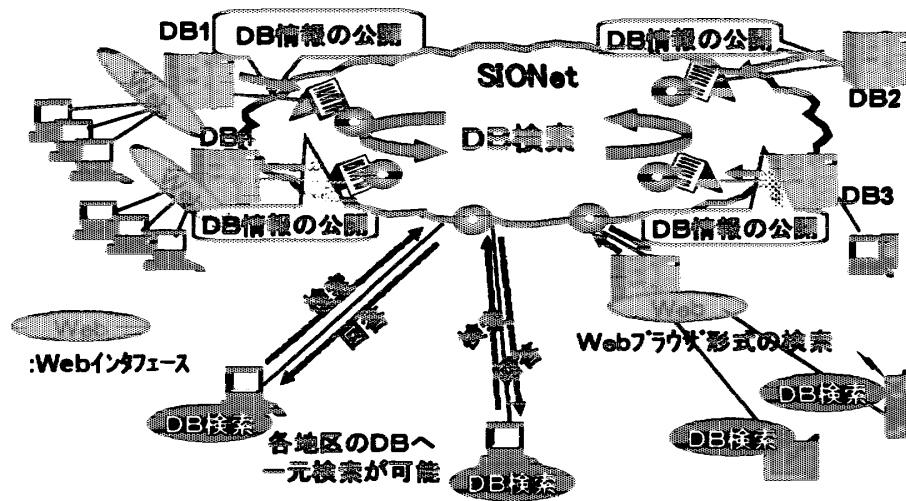


図5 P2P データベース連携

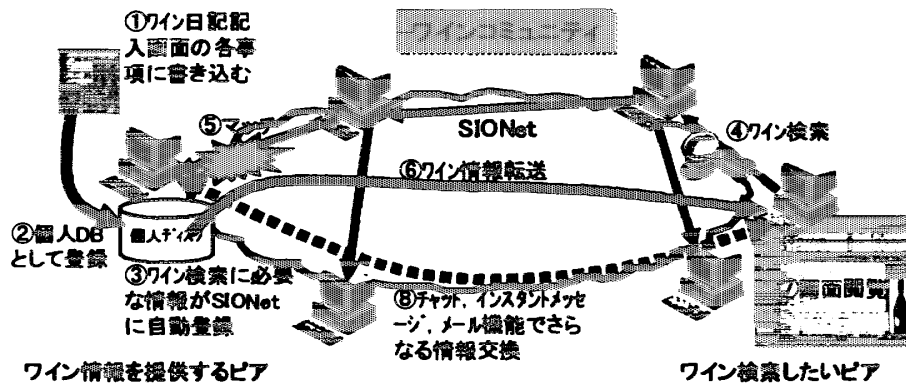


図6 口コミ型コミュニティの形成

P2P の特徴を活かして構築することができる[12].

例えば、ワイン好きの同好の志が参加し、ワインの評価や感想、アドバイス、レコメンデーションなどの情報がやりとりされるコミュニティネットワークであり、以下の機能を持つ(図6).

- ワイン日記の画面に自分の飲んだワインの情報を記入すると、自端末内にDB化されるとともに、検索に必要なインデックス情報(メタデータ)がSIONetに自動的に登録される。能動的に動かなければならない掲示板と異なり、ユーザが意識せずに情報発信できるよう敷居の低いコミュニティ参加を支援している。
- ワイン情報を得たいユーザは、赤白、甘辛、値段、合わせる料理等、調べたいワインに関する情報を設定して検索をかけると、条件に合うワイン情報に関する候補が示される。ユーザが気に入ったワインを選ぶと実際の情報は、その情報の所有者のDBから直接通信で得られる。検索に際しては、あらかじめ登録した個人のプロパティ(年齢、性別等)も使わ

れる。

- この一般ユーザ中心の口コミ情報コミュニティに、ワイン輸入業者、酒店、レストラン等ビジネスユーザが加われば、的確な市場リサーチ・宣伝が可能となる。

5. 今後のP2P技術の課題とむすび

以上、P2P技術の現状とビジネス例を述べてきた。ここでは、今後さらにP2P技術を発展させ、ビジネスを活性化させていく上での課題について考えたい。

上記ビジネス展開例としては、ハイブリッド型によるソリューションを主に扱ってきたが、今後ユーザの自発的な振る舞いによりコミュニティを拡大し、ビジネス機会に結びつけることが期待される。この場合、ピアによるコミュニティの自己組織化が可能なピア型P2Pが中心的な技術として期待される。しかし、ピア型P2Pにおけるシステムの振る舞いが未だ十分に解析されておらず、これを明確化するのが重要な課題の一つとなる。

ピア型 P2P では、その「中央に位置する主体がない」という特徴のため、全体を統制的に把握・管理することはできない。実際、ある P2P アプリケーションをユーザが起動した場合、どの位の数のユーザと接続するか、どの位のトラフィックが発生するかは、サービスを展開してみないと予測できない。

次の課題として、ピア型 P2P システム、ハイブリッド型 P2P システムでのユーザの振る舞いの明確化が挙げられよう。P2P システムは、丁度ネットワークのプロードバンド化と相まって普及・発展してきたために、そのような環境下でのユーザがどのようなものを求めているかが明らかになってはいない。「無料であるから流行する」、「自由にコミュニティに参加できるから流行する」などの様々な仮説が立てられているが、どれも実証されていない。これら 2 点は、両者とも複雑な要素が絡み合っていると思われるが、様々なモデルを立て、解析やシミュレーションにより、実サービス展開前に予測をする技術が確立されれば、無駄な投資を行うことなく実システムを開発することが可能となる。

このように、ユーザの振る舞いに大きく依存している P2P システムの振る舞いの予測が、実ビジネスの成功への一つの核である。このために、数理計画や待ち行列理論などを応用した OR 的アプローチによる解析、および、応用方法の探究が期待される。

参考文献

- [1] 小柳, “P2P インターネットの新世紀”, 電気通信協会編 ISBN 4-88549-019 f-7, May 2002.
- [2] 星合, “P2P の理念およびその実現技術: SIONet の全

貌”, IECF 研究会招待講演テキスト, 国際大学 IECF 研究会主催講演会, Nov. 2001.

- [3] 須永, “P2P 技術動向と汎用 P2P プラットフォーム SIONet”, 信学技報, NS 2002-153, Oct. 2002.
- [4] 小柳ほか, “招待論文: P2P ネットワーク技術の提案と紹介”, 信学論 B, Vol. J 85-B, No. 3, pp. 319-332, Mar. 2002.
- [5] Project JXTA, <http://www.jxta.org>
- [6] Sun JXTA Engineering Team, “JXTA Platform Scalability Proposed Design (draft ver. 0.5)”, July 2002, <http://platform.jxta.org/java/workinprogress/ScalabilityOverview.pdf>
- [7] H. Sunaga, et al., “Advanced Peer-to-Peer Network Platform for Various Services — SIONet (Semantic Information Oriented Network) —”, in Proc. of IEEE International Conference on Peer-to-Peer Computing, pp. 169-170, Sept. 2002.
- [8] J. Mache, et al., “Request Algorithms in Freenet-style Peer-to-Peer Systems”, in Proc. of IEEE International Conference on Peer-to-Peer Computing 2002, pp. 90-95, Sept. 2002.
- [9] S. Ratnasamy, et al., “A scalable content-addressable network”, in Proc. of ACM SIGCOMM, 2001.
- [10] I. Stocia, et al., “Chord: A scalable peer-to-peer lookup service for Internet applications”, in Proc. of ACM SIGCOMM, 2001.
- [11] S. Kimura, et al., “Software Configuration of P2P Application Controller”, in Proc. of IEEE ICT, C-014, June 2002.
- [12] 菊間ほか, “P2P コミュニケーションプラットフォームを利用したコミュニティ形成に関する一考察”, 情処研報, 2002-GN-45.