

Access Grid の構築と Grid 上での国際会議

首藤 一幸[†] 田中 良夫[†] 小松 弘幸^{††} 松岡 聡^{††}
南里 豪志[§] 岡村 耕二[§] 関口 智嗣[†]

Access Grid は Grid 上でのヒューマンインタラクションを支援するソフトウェアおよびプロジェクトであり、その基本部分は大規模ビデオ会議システムである。我々は、ひとつのパッケージにまとめられた Access Grid ノードを設計、構築し、運用してきた。SC2001 国際会議では、Access Grid を活用した SC Global という Grid 上の会議が併設された。40 を越える拠点からの参加があり、我々も ApGrid パネルディスカッションの企画や、日本とデンバーからの参加という形で取り組んできた。本稿では、これらの取り組み、経験を紹介する。

A Case Study of Access Grid Node Construction and a Global Technical Conference

Kazuyuki Shudo[†] Yoshio Tanaka[†] Hiroyuki Komatsu^{††} Satoshi Matsuoka^{††}
Takeshi Nanri[§] Koji Okamura[§] Satoshi Sekiguchi[†]

Access Grid represents a project and a software suite that support human interaction across the grid. The main and basic part of the technology is a large-scale video conference system. We have designed and constructed a package Access Grid node, named "Delivery Grid". Utilizing the technology, SC Global was held at the SC2001 conference. It is the first global technical conference on the Grid. Over 40 nodes attended to the event. We contributed to the event by planning and hosting a panel discussion related to Asia-Pacific Grid and attending from Japan and Denver. This paper describes our experiences in the construction of Access Grid and the SC Global.

1 はじめに

Grid は、ネットワーク上の様々な計算・情報資源に柔軟にアクセスするためのネットワーク利用技術だと考えられている。計算能力は資源の典型ではあるが、他にも、資源のディレクトリ、認証および権限の付与サービス、各種センサーなど、Grid の構成に欠かせない資源、サービスは数多い。

Access Grid は、人という情報資源へのアクセスを支援するプロジェクトおよびソフトウェアである。その基本部分は大規模ビデオ会議システムであり、IP マルチキャストで通信するために拠点数のスケーラビリティが高いことや、コモディティ PC 上のソフトウェアで構成されるので構成の自由度が高く、手を入れやすいことなどが特徴である。プロジェクトはアルゴンヌ国立研究所が始めたもので、メーリングリストには現在 300 名を超えるメンバが登録している。知られている範囲で、北米、ヨーロッパ、南米、アジア太平洋地域では日本、オーストラリア、中国に約 80 のサイト



図 1: SC Global でのパネルディスカッションの様子

があり、それ以上の数のノードが運用されている。

ネットワークを用いた Computer Supported Collaborative Work というアイデアは特に新しいものではない。しかし、Access Grid のように世界規模で高品質なインタラクションが可能になったのは、近年著しいネットワークの普遍化と広帯域化の恩恵であり、最近ようやく現実のものとなって実証の環境が整ったと言える。Access Grid を利用している様子を図 1 に示す。

我々は、産総研や東工大、九州大学にて Access Grid ノードを構築すると同時に、Access Grid での利用に

[†]産業技術総合研究所 National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

^{††}東京工業大学

Tokyo Institute of Technology

[§]九州大学

Kyushu University

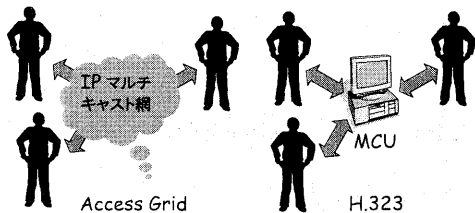


図 2: Access Grid と H.323 の多拠点接続方式の違い

耐える数 Mbps から 100 Mbps 以上の IP マルチキャスト接続を設けて運用してきた。また、ひとつのラックにコンパクトに収まった Access Grid ノードや、手の平に乗る小型ノードの構築も試みてきた。SC2001 と併催された Grid 上の国際会議 SC Global には、現地デランパーや日本から参加するだけでなく、イベントを提案、運営するという形でも取り組んで来た。

2 ビデオ会議システムとの比較

Access Grid の基本部分はビデオ会議システムなので、一般のビデオ会議システムとの比較は有意義であろう。現在、ほとんどのビデオ会議システムは TCP/IP 上では H.323 という ITU-T 勧告に準拠している。これは、呼制御や端末間のネゴシエーションなどを定めたプロトコル群で、Microsoft 社の NetMeeting、Polycom 社の ViewStation や ViaVideo など多くのシステムが準拠しており、準拠システム間では相互運用が可能であるということになっている。

2.1 スケーラビリティ

ビデオ会議の手段としてだけ考えた場合、これら H.323 端末に対する Access Grid の利点は、拠点数が増えても映像、音声といったメディアの質が損なわれないというスケーラビリティである。これは、IP マルチキャストを利用するか否か、という違いから生じている。

H.323 は基本的に一対一のビデオ会議のための規格であり、端末間に呼び出し側と応答側という関係を仮定している。そのため、複数の拠点で会議を行うためには MCU (多地点接続装置) が必要となる (図 2)。多拠点会議では、全 H.323 端末が MCU を相手にユニキャストで通信し、MCU は、全端末からの映像と音声をミックスしてその結果を各端末に送る。この際に各端末が MCU から受け取る映像は、あくまで一画面分に限られ、全拠点分を QCIF (Quarter-Common Interface Format, 176×144 pixel) や FCIF (Full-CIF, 352×288 pixel) の限られた一画面に収めたものとなる。MCU は一般的には、画面を分割したり、各拠点からの映像を適当なタイミングで切り替えることで一画面に収める。

一方、Access Grid は当初より多拠点を指向しており、IP マルチキャストの利用を前提としている。どの拠点

も対等であり、どの拠点も全拠点からの完全な映像と音声を受け取る。各拠点からの映像は PC (Windows, Linux) のウィンドウとして表示されるので、どういった大きさ、配置で表示するかは各拠点の自由である。MCU が構成したお仕着せの一面を全員で見るといった不自由はない。また、Access Grid ノードのハードウェアは PC であるため、もし縦横比 3:4 の一面では手狭であれば、数画面に分けて複数のモニタやビデオプロジェクトに出力することも容易である。これが Access Grid が多拠点での利用に向いていることの大きな理由のひとつである。

Access Grid の「ロビー」と呼ばれる仮想会議室 (virtual venue) では、常時 30 から 40 の Access Grid ノードが映像を送出している。SC Global (3 章) ではひとつのイベントに 20 前後のノードが参加したこともあった。これを H.323 で行おうとすれば、仮に一画面を 4×4 にまで分割できたとしても、全拠点からの映像を同時に表示することはできない。

ここでトラフィックについて考察する。ごく単純化して、一拠点が送出するトラフィックを t 、会議に参加する拠点数を n とする。この場合、各拠点周辺のトラフィックは次表の通りである。

	各拠点	MCU
H.323	$2t$	$2nt$
Access Grid	nt	

それぞれ拠点数 n に対するオーダは $O(n)$ であり、線形であることに違いはない。もっとも、H.323 では MCU 周辺だけに $O(n)$ のトラフィックが生じるのに対して、Access Grid では全拠点の周辺で $O(n)$ のトラフィックが生じる。すなわち、Access Grid では、それを代償として、すべての拠点において全拠点からの完全な映像と音声を手に入れることができる、と言える。

仮に、IP マルチキャストを利用することなく、MCU を用いて全拠点で全映像、音声を受信できたとすると、MCU 側のトラフィックは $O(n^2)$ となってしまう。ひとつの拠点は t だけ送出、 $(n-1)t$ だけ受信し、合計 nt のトラフィックを発生させるので、MCU 周辺のトラフィックは n^2t となるからである。ある程度の拠点数でお互いにすべての映像と音声を共有するには、IP マルチキャストは必須であろう。

とはいえ、IP マルチキャストを利用できる環境の構築は敷居が高い。それが、Access Grid の使用に耐える数 Mbps から 100 Mbps 以上の帯域幅を持ったマルチキャスト接続であればなおさらである。それなりの帯域幅のあるネットワーク接続を確保し、接続相手を見つけ、ルータの設定を行わねばならない。Access Grid を導入する際に、多くの場合、現実に最も困難なのはおそらくこの点であろう。Access Grid の特徴である IP マルチキャストではあるが、これが普及への最も大きな障害ともなっている。使い勝手は削がれるものの、マルチキャスト-ユニキャストブリッジを利用

するという手段もあるにはある。

2.2 コモディティPC上のソフトウェア

Access GridはPC上のソフトウェアとして実現されている。実体は既存のソフトウェアといくつかの独自ソフトウェアの集まりである。そのため、ソフトウェアを差し替えたり、改良、拡張することが可能である。また、ハードウェア構成の自由度が非常に高い。

現に、映像の送受信に用いられるソフトウェアVICはAccess Grid向けに改造、機能追加がなされている。また、遠隔地の多数の聴衆に対するプレゼンテーションに用いられるDPPT (distributed PowerPoint, 4.2節)もAccess Gridのために開発されたものであり、Access Gridの拡張可能性を示している。

ハードウェア構成の自由度が高いため、PCにビデオカードを追加したり、複数ディスプレイへの出力が可能なビデオカードを用いることで容易に表示画面数を増やせる。これも、PCをプラットフォームとしていることの利点である。例えば、我々が構築したAccess Gridノード(図4)は最大6画面への出力が可能となっている。

この自由度の高さと拡張性を活かして、我々も非常にコンパクトで携帯可能なノードの構築(5.2節, 図6)や、より高品質なメディア、具体的にはDigital Videoの統合(5.3節)に取り組んできた。また、Access Grid Augmented Virtual Environment (AGAVE)、Access Grid-to-Goといった取り組み[1]や、我々と同様にコンパクトなノードを構築しようという取り組み[2]など、世界中で様々な取り組みがなされている。

2.3 コミュニティの存在

ここまでAccess Gridの技術的な特徴を述べてきた。しかし、Access Gridがビデオ会議システムと最も異なるのは、それが研究プロジェクトであり、コミュニティが存在するという点ではないかと考えている。活動の中心はメーリングリストであり、現在300名を越えるメンバが登録している。疑問や問題意識があればそこで提起する。議論に発展することもある。ネットワークに関するコミュニティらしく、そこでは運用と研究が一体となっていて、ノード構築やソフトウェアの設定、設備についての質問もあれば、研究者がソフトウェアの改良案を汲み取ることもある。

例えばここでは、最近、ビールについて(ビールを飲みながら)議論しようというAccess Grid越しのシンポジウム[3]がそこで提案され、2002年2月に実施された。このようなEoIP (Enkai over IP)¹の実証試験は、以下の目的で非常に有効であろう。

- Access Gridで得られるtele-existenceを検証する。
- 形式ばらないヒューマンインタラクションに対してどういった技術的支援が有効であるかを考察する。

¹小松、高林 (SONY CSL, 奈良先端)、日台 (SONY) による造語

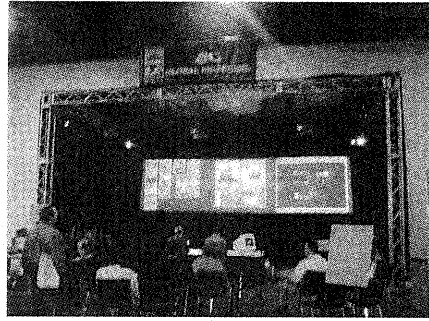


図3: SC GlobalのShowcaseノード

こういった試みが実際に可能となるのは、広域に分散したコミュニティが存在するからである。

3 Grid上の国際会議 SC Global

2001年11月の第3週、高性能計算とネットワークに関する国際会議SC2001がデンバーにて開催された。SC2001と同時に、世界各地で様々なイベントを共有しようという、Grid上の国際会議SC Global [4]が開催された。これは、Access Gridを用いて、世界中からSC2001に参加できるようにすると同時に、各サイトでもイベントを企画、開催し、それを世界各地で共有しようという試みであった。

SC2001の展示会場にShowcaseノード(図3)が設けられた他、テクニカルプログラムのために3部屋(収容人数450, 353, 162人)にAccess Gridノードが設置された。遠隔からの参加サイト数は、9月時点のリストに載っているもので、北米33, ヨーロッパ4, アジア太平洋地域3, ブラジル1, 南極1であった。アジア太平洋地域の3サイトは、産総研、シドニー大学、北京航空航天大学(BUAA)である。しかし実際には、東工大、九州大学、中国の清華大学などからの参加もあった。

3.1 プログラム

プログラムは、Showcaseプログラムと3並列のテクニカルプログラムから構成されていた。テクニカルプログラムには、SC2001の中継としてKeynote, Gordon Bell Finalist Showcase, そして4つのテクニカルセッションが取り上げられた他、29の提案されたイベントが行われた。Showcaseプログラムの中には南極(Center for Astrophysical Research)からの中継もあり、参加者の興味をひいていた。この中継には17ノードが参加し、映像音声合わせて81のストリームが流れたとのことである。提案イベントのほとんどがパネルディスカッションだったのは、一方向の中継、配信ではなく、Access Gridで可能となる双方向のインタラクションを試験、活用しようと多くの提案者が暗に考えたからであろう。

我々もパネルディスカッションを提案し、運営にあたった。アジア太平洋地域のグリッド研究協力体制 Ap-Grid [5] の立ち上げ時期であったので、「Can the Asia Pacific Grid Contribute to the Science and Technology in the Asia Pacific Region?」と題し、各国参加組織の代表による発表と議論を企画した。司会をデンバーにて松岡が務め、日本からはパネラとして産総研大蒔が参加した。また、Data Gridに関するパネルディスカッションには、日本から高エネ研渡瀬が参加した。その他、関口、田中も別のイベントのパネラを務めるなど、多方面から参加、貢献してきた。

3.2 準備

この規模のイベントには、それなりの準備が必要である。SC Global に向けて、クルーズ (cruise) と呼ばれるネットワーク越しのミーティングがたびたび行われた。7月からSC Global直前までは、週に一度 *Nanocruise* の時間帯が設定され、SC Global 参加サイトは各種の試験、調整を行った。例えば、スピーカの音量、マイクのゲインの調整などである。

9月の第4週には、*Production Institute* [6] という期間が設けられ、丸5日間通して集中的に、Access Grid の試験を兼ねて、SC Global を運営する側に対する教育が行われた。そこでは、Technical Directors, Producers, MC (司会), Speakers といった参加者の役割ごとに、それに応じた内容の講義が Access Grid 越しに行われ、多拠点での分散ミーティングを運営するにあたって必要な知識が伝えられた。具体的には、司会者と話者向けには「Communicating Effectively over the Access Grid」という講義で、ゆっくり明瞭に話すこと、といった注意や、複数のサイトから質問やコメントを受け付ける方法などが取り上げられた。

10月の第2週には *Megacruise* [6] という期間が設けられ、Dry run と称して、SC Global 本番のリハーサルが行われた。

3.3 距離と時間

SC Global を通して最も困難を感じた点は、米国との時差であった。Access Grid ノードが最も多いのは米国であり、活発な関係者も米国に多いため、どうしても時差の大きい地域には不利な時間帯に各種イベントが行われる。米国の次に関係者が多いのは欧米であるため、アジア太平洋地域の都合は軽視されがちである。例えば、*Production Institute* (3.2節) では13回のクルーズ、講義が用意されたが、日本の昼間に行われたのはそのうちのわずか3回であり、残りは深夜23時から朝7時の間に設定されていた。

分散ミーティングでも、2拠点間であれば双方に都合のよい時間帯に設定できるが、参加者が地球上に散在している状況では、全員に都合のよい時間帯設定はできない。Access Grid で距離を越えることはできて



図4: 構築した Access Grid ノード Delivery Grid

も、時間ばかりはどうにもならないことを強く感じた。

4 Access Grid の構築

Access Grid ノード構築への取り組みは、次の3種類に分けて考えることができる。

- 機材
PC, プロジェクタ, スクリーン, カメラ, マイク, スピーカ, エコーキャンセラ, IP マルチキャスト対応ルータまたは Ethernet スイッチ
- PC 上のソフトウェア
VIC, RAT, DPPT (distributed PowerPoint)
- ネットワーク
IP マルチキャスト

4.1 機材

4.1.1 PC

機材の中心はコモディティPCであり、1台から4台用いる。表示用に Windows を1台、映像キャプチャ用と音声キャプチャ用にそれぞれ Linux を1台ずつ用意することが推奨されている。エコーキャンセラやビデオカメラの制御用という名目でもう1台用意することが推奨されているが、実際はほとんど不要である。それぞれのPCが特殊である点は、次の通りである。

- 表示用 PC は複数のビデオプロジェクタへの出力を担うので、それが可能なビデオカードを備える。
- 映像キャプチャ用 PC は、接続するカメラの台数に応じた枚数のビデオキャプチャカードを備える。
- 音声キャプチャ用 PC は、音声のキャプチャおよび出力のためのサウンドカードを備える。1枚以上。

我々が構築した Access Grid ノード、Delivery Grid の外観を図4に示す。移動が可能のように、ラックにコンパクトに収め、ラックには車輪と固定用の足を持たせた。スピーカ、マイク、カメラ、モニター、キーボード、Ethernet スイッチなどを備えているため、これ単体でひとつの Access Grid ノードとして完結している。

4.1.2 映像と音声まわり

映像と音声を扱う以上、PC以外のデバイスの重要性は高い。ビデオプロジェクト（またはモニタ）が多くて困るということはなく、また、DPPTを使う場合はスライド表示のために一画面割り当てることが望ましい。マイクも、部屋の広さや参加人数に応じた本数を用意する。指向性の広い会議向けのものが望ましい。カメラは、PC側に用意したビデオキャプチャカードの枚数まで利用できる。つまり、PC側の拡張スロットの数（通常3～6程度）が上限となる。キャプチャ用PCを2台以上用意することで、さらに多くのカメラを使うことも可能である。

カメラ、マイク、プロジェクト以上に重要であるのが、エコーキャンセラである。エコーキャンセラを用意できない場合、スピーカではなくヘッドホンで音声を聞くことになり、ヘッドホンの数が参加可能人数を制限してしまう。もしエコーキャンセラを持たないノードでスピーカを使うと、スピーカからの音声を再びマイクが拾って送出してしまい、他のノードからの参加者はエコーを聞くことになる。2拠点間のビデオ会議ならともかく、拠点数が多ければそれだけエコーの発生源も増えるため、Access Gridではこの問題は非常に大きい。

経験的に、ビデオ会議では映像の品質よりもはるかに音声の品質が重要である。多人数での利用にエコーキャンセラは欠かせないが、これが比較的高価であり、ノード構築の敷居を高くしている。例えば、推奨されているGentner社の製品はUS\$ 4000以上である。安価なPC用サウンドカードに内蔵されているエコーキャンセル機能の利用や、より安価な製品について調査を進めている。

4.2 ソフトウェア

Access Grid用のソフトウェアは、ひとまとめにされてネットワーク上で配布されている。Windows用であればインストーラの実行ファイル、Linux用であればバイナリパッケージ（RPM）や、CD-ROMのISO 9660形式イメージファイルとして入手が可能である。

映像の送受信、表示にはVIC、音声の送受信、再生にはRATという、IPマルチキャストネットワークでよく使われてきたソフトウェアを用いる。VICはAccess Grid向けに改造されていて、多拠点での利用に便利のように多数のウィンドウを一斉に配置しつつ開くという機能Autoplaceが実装され、画面スペースを有効に利用できるように各ウィンドウのメニュー表示部分が削減されている。

仮想会議室（virtual venues）のためのソフトウェア群はAccess Grid独自のものである。Access Gridは、ウェブブラウザを用いてリンクを辿ることで仮想会議室間を移動するというモデルおよびユーザインタフェースを採用している。これを実現するためには、ウェブブラウザからの指示を受けて、適切な設定でVIC

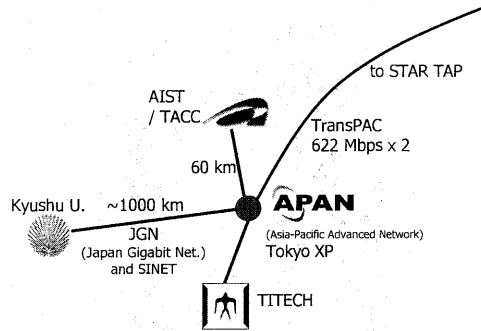


図 5: Access Grid 向け国内 IP マルチキャスト網

やRATを起動、終了するためのソフトウェアが必要となる。このソフトウェアはEvent Listener, Display Resource Manager, Video Resource Manager, Audio Resource Managerから構成され、Java言語で書かれている。ウェブサーバ側で稼働する仮想会議室サーバは、アルゴンヌ国立研究所で稼働しているだけでなく、配布もされている。

また、Access Gridには標準で遠隔プレゼンテーションを支援するDPPT（distributed PowerPoint）というソフトウェアが含まれている。DPPTを用いてスライドを提示すると、発表者がスライドのページを送るごとに、ネットワーク越しの聴衆の手もとでもページが送られる。このソフトウェアはMicrosoft社PowerPointのwrapperとして作られていて、ネットワーク越しに受け取ったページ送りの指示をPowerPointに対して指示する、という構造になっている。

4.3 ネットワーク

IPマルチキャストを前提としていることがAccess Gridの特徴のひとつである（2.1節）。これによって、すべての拠点において全拠点からの映像と音声を完全な形で手に入れることが可能となっている。しかし、実際にIPマルチキャストを利用できる環境の構築は敷居が高い。Access Gridは比較的大きな帯域幅を必要とするので、なおさらである。Access Gridで、「ロビー」と呼ばれる仮想会議室には常時30から40のノードが常駐していて（2.1節）、トラフィックは20 Mbpsに達する。それを受信し切れない場合、映像と音声の質が低下するだけで参加そのものできないわけではないが、同じ仮想会議室に入る拠点数が多ければ多いほど必要な帯域は増えるため、許容帯域幅が広いに越したことはない。

これまでのIPマルチキャストのアプリケーションであった一方向の放送や小規模（数拠点）ビデオ会議では、必要な帯域幅はせいぜい数十Kbpsから数百Kbpsであった。広帯域IPマルチキャスト網の構築、応用技術という観点で、Access Gridは興味深いアプリケーションだと言える。



図 6: Mobile Access Grid ノード

我々は、図 5 に示す IP マルチキャスト網を構築している。拠点間を結ぶ線はすべてマルチキャストトンネルである。実際は九州大学はまだ SINET 経由でトンネルを設定しており、SC Global (3 章) の際に映像、音声データを受け取り切れないという現象を観測した。SINET 上で利用可能な帯域幅が充分でないことが原因だと考えている。

5 日本からの貢献

deployment に留まらない日本からの独自の貢献として、以下を計画している。

5.1 ユーザインタフェースの改善

現在の Access Grid で多拠点ビデオ会議を行うと、画面上の多くの参加者のうち誰が発言しているのかを判別しにくい。拠点数が増えるほどその傾向は顕著になる。つまり、ユーザインタフェースが拠点数に対してスケラブルなものになっていない、と言える。

そこで、Access Grid ノードが送受信している映像、音声の性質、例えばトラフィックに応じて、各拠点ごとに映像の提示方法を変えることで、利便性の向上を図れる、と考えた。ウィンドウの大きさや位置、ときには動きや色を変えるのである。そのための基盤を構築した [7]。映像、音声の状態を取得できるようになったので、今後は、これを用いてユーザインタフェースをいかに改善できるかを考えていく。

5.2 Mobile Access Grid ノードの開発

携帯できるくらい小さく軽い Access Grid ノードを開発している (図 6)。ハードウェアとしては、100~300 g 程度のいわゆる PDA や、PDA から利用可能な無線 LAN アダプタ、ビデオキャプチャデバイス、カメラなどがすでに手に入る。ここで用いている Compaq 社の iPAQ Pocket PC はマイクを持ち、PCM 音声を鳴らすこともできるので、ハードウェアの機能としてはまったく不足がない。

5.3 高品質メディアの統合

Access Grid では現在、H.261 という映像符号化方式が標準的に用いられている。Access Grid が用いる VIC (4.2 節) は H.263、H.263+ といった H.261 から改良された各方式にも対応はしている。しかし、多拠点からの多くの映像を扱うために、VIC での処理がそれらより軽い H.261 が選択されている。

我々は、Access Grid により高品質のメディアである Digital Video (DV) [8] を統合しようと考えている。DV の生むトラフィックは最大 30 Mbps にもなるため、双方向ではなく、一方の放送を、ある特定の仮想会議室に入ることによって視聴できる構成を設計している。

6 まとめ

我々は、Access Grid 向けの IP マルチキャスト網 (4.3 節) やノード (4.1 節) を構築し、Grid 上の国際会議には SC Global にも様々な貢献してきた (3 章)。

近年、家庭にまで数 Mbps のネットワークが普及しつつあり、基幹ネットワークの広帯域化も進んでいる。ネットワーク越しのビデオ会議、Computer Supported Collaborative Work という考えは特に新しいものではないものの、広帯域ネットワークの普及にしたがって、その現実性は急速に増しつつある。今後、その需要はいよいよ高まっていくだろう。

謝辞

APAN 東京 XP の北辻様には、産総研と APAN 間の IP マルチキャストトンネルを設定して頂きました。産総研先端情報計算センターの諸氏には、産総研側のネットワーク設計で大変お世話になりました。感謝致します。

参考文献

- [1] The Continuum Project, <http://www.evl.uic.edu/cavern/continuum/>.
- [2] Linux iPAQ (in the context of Internet2 and Access Grid), <http://internet2.motlabs.com/agnode/tech/ipaq/>.
- [3] First Annual Access Grid Symposium on Beerology, <http://MRoCCS.cs.unt.edu/morton/AGBeer2002/>.
- [4] SC Global - The First Truly Global Technical Conference on the Grid, <http://www.SCGlobal.org/>.
- [5] ApGrid - Asia Pacific Grid Partnership for Grid Computing, <http://www.ApGrid.org/>.
- [6] Some important SC Global stuff from jvth, <http://scv.bu.edu/jvth/scglobal/>.
- [7] 小松弘幸: 大規模ビデオカンファレンスにおけるスケラビリティの獲得, 修士論文, 東京工業大学, 2002.
- [8] DV (Digital Video) over IP [DVTS], <http://www.sfc.wide.ad.jp/DVTS/>.