報 告

超高速ネットワークを利用した日米間の研究協力実験

愛宕隆治*¹, 菊池俊一*², 館山 純*¹, 藤田充苗*³
原田広史*⁴, 横川忠晴*⁵, 菅原秀明*⁶, 宮崎 智*⁶

[著者抄録] 科学技術振興事業団, 科学技術庁金属材料技術研究所, 理化学研究所は, ミシガン州立大学の協力を得て, 材料設計, 生物研究を対象として, 超高速ネットワークを利用した研究協力実験を行った。日米間はミシガン州立大学と科学技術振興事業団の間を 45Mbps の国際回線で接続した。日本国内は, 科学技術振興事業団から, 金属材料技術研究所, 理化学研究所へそれぞれ 45Mbps の専用線で接続した。実験の背景, 実験の概要とそれに関連した国際試験回線の利用法, 国際試験回線でのトラフィックの計測結果を紹介し, 超高速回線を使ったアプリケーションを開発する上で留意すべき点にふれる。

[著者付与キーワード] 広帯域ネットワーク, 超耐熱合金, 材料設計, 遠隔教育, 進化系統解析, マルチメディア教材, エデュメント, 実験動物, TV 会議, ビデオ・オン・デマンド

Report

An experiment of research collaboration between Japan and U.S.A. using broadband research network

ATAGO Takaharu, KIKUCHI Shun'ichi, TATEYAMA Jun, FUJITA Mitsutane
HARADA Hiroshi, YOKOKAWA Tadaharu, SUGAWARA Hideaki, MIYAZAKI Satoru

[Author Abstract] We developed multimedia applications for demonstrating the usefulness of broadband network for research collaboration and education in the field of material design and bioscience. Michigan State University and Japan Science and Technology Corporation were connected by 45Mbps dedicated to international testbed. The collaboration experiments were successfully conducted. We report the background and summary of the experiments and refer to some points that should be paid attention to for making full use of broadband networks.

[Keywords by Author] broadband network, super heat resistance alloy, material design, tele-education, phylogenetic analysis, edument, experimental animal, TV conference, video on demand

1. は じ め に

情報通信技術とネットワーク、マルチメディアアプリケーションの著しい発展を背景に、平成7年2月に先進7か国による「情報社会のための閣僚会合」がブラッセルで開催され、高度情報通信社会の実現に向けた11の国際共同プロジェクトの実施が合意された。11の国際共同プロジェクトは以下のとおりである。

- (1) グローバルインベントリー
- (2) 広帯域ネットワークのグローバルな相互運用性(GIBN)
- (3) 文化間での訓練と教育
- (4) 電子図書館
- (5) 電子博物館・美術館
- (6) 環境・天然資源の管理
- (7) グローバルな緊急危機管理
- (8) グローバルなヘルスケアのアプリケーション
- (9) オンラインによる行政の情報化
- (10) 中小企業の為のグローバル・マーケット
- (11) 海事情報システム

この国際共同プロジェクトの一つであるGIBN (Global Interoperability for Broadband Networks)プロジェクトは、先進7か国の各国の広帯域ネットワーク、実験ネットワーク(テスト

ベッド)等をネットワーク上のアプリケーションやデータベースも含めて容易に相互利用できる環境を整えるために、先進7か国間を超高速度回線(当時は45Mbps)で接続し、いくつかのアプリケーションを試行することにより、広帯域回線が高度情報通信社会で果たす効果を実証する実験を行うことを目的としている。

これまでGIBNの実験として提案されたものは以下の四つの分野に大別される。

(a) Telemedicine, (b) Distant Learning, (c) Industrial Broadband Application, (d) Research Broadband Application

日本からは、郵政省、文部省、通産省、科学技術庁がGIBNプロジェクトの実験に参加している。科学技術振興事業団(JST)でも、このGIBNプロジェクトの実施機関として、科学技術庁金属材料技術研究所(NRIM)、理化学研究所(理研)の協力を得て、材料設計、生物研究を対象として、国際試験回線(45Mbps)を使った国際的な研究協力実験のためのアプリケーションを開発することとなった。米国側の実験相手にはミシガン州立大学(MSU)を選定した。MSUを選定したのは、広帯域ネットワークの試験研究を実施し、AT&Tのテストベッド回線の引き込み実績があり、ネットワークを活用した生物研究に関して理研と既にコンタクトがあったためである。

-
- * 1 科学技術振興事業団 研究基盤情報部 (〒102 千代田区四番町5-3) Tel. 03(5214)8497
JST, Department of Advanced Databases (5-3, Yonban-cho, Chiyoda-ku, 102)
 - * 2 科学技術振興事業団 情報システム開発部 (〒102 千代田区四番町5-3) Tel. 03(5214)8429
JST, Department of Systems Development (5-3, Yonban-cho, Chiyoda-ku, 102)
 - * 3 科学技術庁金属材料技術研究所 第二研究グループ (〒305 つくば市千現1-2-1) Tel. 0298(59)2500
National Research Institute for Metals, Second Research Group (2-1, Sengen1-chome, Tsukuba-shi, 305)
 - * 4 科学技術庁金属材料技術研究所 計算材料研究部
National Research Institute for Metals, Computational Materials Science Division
 - * 5 科学技術庁金属材料技術研究所 材料設計研究部
National Research Institute for Metals, Materials Design Division
 - * 6 国立遺伝学研究所 生命情報研究センター (〒411 三島市谷田1111) Tel. 0559(81)6895
National Institute of Genetics, Center for Information Biology (1111, Yata, Mishima-shi, 411)

2. GIBN プロジェクト・コーディネータ会合

GIBN プロジェクトを推進するために GIBN プロジェクト・コーディネータ会合が開催された。この会合では、先進 7 개국 各国の本プロジェクトのコーディネータが、各国の相互接続に関する交渉、アプリケーションの推進方針の策定等、政策的な議論だけでなく、各ネットワークを相互接続するための技術的内容についても突っ込んだ議論が行われた。平成 7 年 4 月の第 1 回会合以来これまでに 5 回の会合が開催されている。

3. 実験の全体スケジュール

平成 7 年 5 月に本実験の予算が日本科学技術情報センター（平成 8 年 10 月に旧 JRDC と統合され、科学技術振興事業団となった）に認可された後、平成 8 年 6 月末にシステム完成、ワークステーション、ATM 装置等の機器類を導入し、超高速回線によるマルチメディア提供環境を整備した。また、実験のために、JST と NRIM、JST と理研との間に超高速回線（45Mbps）を平成 8 年 6 月に設置した。MSU との通信のための JST-KDD 間の超高速回線（45Mbps）は、平成 8 年 10 月に設置した。国際試験回線は KDD、AT&T が提供し、JST、NRIM、理研、MSU は平成 8 年 10 月から平成 9 年 3 月末まで使用した。

4. 国際試験回線の利用法

国際試験回線を提供する電気通信事業者との取り決めにより、相手先固定接続である PVC (Permanent Virtual Connection) を前提としてシステムを構成した。また、VP (Virtual Path) の管理は電気通信事業者が行い、VC (Virtual Connection) は利用者側で管理することとなった。

本実験で開発するコンテンツを実験終了後も有効に活用するためには、多くのネットワーク上での利用実績、保守運用の面から TCP/IP がもっとも信頼性が高いと判断した。ATM 網上で

TCP/IP プロトコルを伝送する方式として「Classical IP over ATM」と「LAN Emulation」の 2 通りの方式が存在するが、本実験の準備段階の時点では、「Classical IP over ATM」に関しては、RFC1577 という明文化された形で規約化されていたが、「LAN Emulation」に関しては、まだベンダーの実装に依存している部分が多くを占めていると判断し、「Classical IP over ATM」を採用した。

サービスクラスとしては、ビデオ・オン・デマンド、電子顕微鏡映像伝送などのリアルタイム系アプリケーションに、固定速度型の CBR (Constant Bit Rate) の VP を 1 本使用した。速度は 10.8Mbps である。固定的な帯域確保の必要の無い上記以外のアプリケーション用には、可変速度型の VBR (Variable Bit Rate) の VP を 1 本使用した。速度は 24.0Mbps である。

5. アプリケーションの概要と実験結果

5. 1 国内・国際回線および端末機器の構成と設定

(1) 全体構成

当実験における全体のシステム、およびネットワークの構成を図 1、2 に示す。JST を中心として、MSU、NRIM、理研(図では RIKEN と示す)の 4 機関が 45Mbps の超高速回線で結ばれている。各機関においては、それぞれの ATM スイッチと各端末機器が 156Mbps の光ファイバによって接続されている。

(2) 回線構成

JST-NRIM、JST-RIKEN 間の回線は NTT の専用線を用いた。また、JST-MSU 間に関しては図 3 に示すように KDD、AT&T の回線を経由して接続した。

(3) ATM スイッチの設定

JST スイッチでは、ビデオ・オン・デマンドと顕微鏡映像のリアルタイム伝送に使う CBR に対して、シェイピングと 200% のオーバーブッキングを設定した。MSU スイッチでは 500% のオーバー

図1 全体のシステムおよびネットワーク構成

図2 日本国内3機関のシステムおよびネットワーク構成

図3 JST-MSU 間の回線構成

ブッキングを設定した。これにより、ビデオ・オン・デマンドとリアルタイム伝送を1本のCBRで利用時間帯を切り替えて使うことが可能となった。

5.2 JST アプリケーション

(1) ビデオ・オン・デマンド (VOD)

遠隔での研究協力にはマルチメディア技術、特に MPEG 2 での動画伝送が重要であると考え、VOD をアプリケーションとして採用した。当初は TCP/IP プロトコルを使って日本から米国に伝送する計画であったが、国際回線による伝送遅延が約200ms 程度発生することが予想されたため、TCP/IP では動画がうまく伝送できないことが判明した。このため、UDP プロトコルで動画を伝送するようにプログラムを作り変えることとした。

JST-MSU 間でテストした結果、ATM セルの大量な廃棄が発生しなければ、JST で視聴するのとまったく同じ品質で MSU でも視聴できることが確認できた。

コンテンツとしては、JICST, NRIM, 理研, 科学技術庁関係7法人共同制作ビデオの四つを選び、日本語版, 英語版, 合計8コンテンツを MPEG

2 (MP@ML, 6Mbps) でエンコードして作成した。

(2) デスクトップ会議

実験相手である MSU が使っている「ShowMe」という市販の TV 会議システムを導入した。動画転送, ホワイトボードの共有はスムーズに動作したが、音声の伝達に若干問題があることが判明した。日本国内で TV 会議を行った場合は音声も明瞭に伝達されたが、MSU と日本間では相手側の音声がよく聞き取れないことが多く、TV 会議は主としてホワイトボードを使った筆談で行った。

実験準備段階から、ホワイトボードを使って、ATM スイッチの設定の調整を行ったが、意志疎通の手段としては非常に優れた機能であることが分かった。

実験段階では、NRIM, 理研とも TV 会議で MSU と意志の疎通を行いながらアプリケーションを起動させて実験を行った。

5.3 NRIM アプリケーション²⁾

「材料設計のための公開実験室システム」

MPEG 1 によるリアルタイム動画像転送を中心として、WWW サーバによる超耐熱合金データベース検索, 超耐熱合金の機械的特性を予測する

シミュレーションが可能なシステムを作成し、高性能な実験施設を遠隔地から利用可能とする手法の研究を行った。材料分野の各種の動画像を伝送して画像品質をチェックしたが、利用に耐える品質であるとの結果を得た。

5. 4 理研アプリケーション³⁾

「微生物実験実習の遠隔教育システム」と「実験動物マルチメディアデータベース」

学部後半および大学院前半、生物学の教師などを対象として、生物学の実験に関する教育に利用可能な環境を用意する目的で作成した。

微生物実験実習の遠隔教育システムは、微生物実験を行う上で必須な知識をマルチメディアコンテンツとして作成した。実験動物マルチメディアデータベースは、実験動物の特性に関する文字・数値・コード形式のデータと、疾患モデル動物の動画・音声を収録したマルチメディアデータベースである。

本アプリケーションのように、微生物菌株の取り扱い、実験機器の操作・生物の動きも観察できるマルチメディアの教材をネットワークを介して利用することができれば、いわば仮想的な実験をいつでも、どこでも、学習者の習熟度に応じて好きなように行うことが出来る。こうした仮想実験においては、操作、生物の形、色、動きなどをテキストやイラストレーションで表しきることは不可能なので、動画像は一層重要である。本アプリケーションにおいても、例えばグラム染色によって染色されていく様子とその発色や、マウスのけいれんの状態を、動画像によって曖昧さ無く利用者が把握することができた。

5. 5 MSU アプリケーション

(1) 微生物の進化系統分類 (ARB)

リボソーム RNA の塩基配列を新たに決定した微生物が、既知の微生物と同一のものかあるいは新規な微生物かを、大規模なリボソーム RNA データベースと分子進化系統解析のソフトウェアを利用して判定する MSU 作成のアプリケーション。

ン。

現在、ネットワーク上に存在する大規模なデータベースと高性能な計算機資源にリモートでアクセスして、自分の研究室内で決定した配列データの解析をすることができる情報環境が求められている。今回の実験では、MSU 側が大規模データベースと高性能計算機資源のセンターのモデル、日本側が利用者としての研究室のモデルであったが、前述の情報環境が実現可能でありかつ有用なことを示すことができた。

ことに、新規データをリアルタイムでセンター側で取り込み、また、解析結果が表示される複数のウィンドウをリアルタイムで両者で共有しながら、デスクトップ会議と電子ホワイトボードも併用して解析結果を詳細かつ活発に議論できたことは、重要な成果であった。

(2) 微生物園 (Microbe Zoo)

微生物の多様な役割を少年少女をはじめとする多くの人々に理解させようという目的で MSU において開発された「微生物の顕微鏡画像、イラストレーションおよびデータベースの統合システム」であり、初期画面や閲覧画面が動物園を模して設計されている。

MSU のファイルサーバに格納されている Microbe Zoo を NFS マウントすることによって、JST からの利用を試み、動作を確認することができた。ただ伝送遅延時間が 200ms ある環境であったので、スムーズに動くべき画像が断続的に動いたり、画像が飛ぶ場合もあった。これは、クライアントからのリクエストが何回か繰り返された後にサーバからしかるべき応答が返ってくるような事態が生じているとも考えられる。

5. 6 トラフィック計測結果

(1) 全体的傾向

図 4 に日本 (JST の ATM スイッチ) から米国 (MSU の ATM スイッチ) へのトラフィックを示す。非常に高い位置にプロットされている部分は VOD のトラフィックが発生している時間帯である。特に映像を連続して伝送している部分では、

図4 JST → MSU へ向けたトラフィック量の測定結果

図5 MSU → JST へ向けたトラフィック量の測定結果

ShowMe 等の並行して稼働しているアプリケーションも含めて、15~16Mbps 程度のデータ転送が常時発生している。ShowMe に関しては、定常的に 2 Mbps 程度のレートで稼働していることから、VOD に関しては、実効10.8Mbps の伝送帯域をほぼ一杯使用していることが分かる。逆に図 5 に示す米国から日本へのトラフィックの方は、ほとんどが ShowMe によるものと考えられる。

(2) アプリケーションごとの解析結果

(a) VOD

VOD サーバから JST の ATM スイッチへのデータ送出速度は 7 Mbps であった。

(b) デスクトップ会議

定常的に 2 Mbps 程度のレートで稼働した。

(c) 微生物実験実習と実験動物マルチメディアデータベース

WWW 上に構築された仕組みであるため、基本的には全てがファイル転送の形で処理が行われる。ファイル転送の場合は、どうしても瞬間的に処理が終わってしまい、トラフィック計測結果のログからは厳密な処理速度を算出することが難しいが、図 6 に示すように、この環境におけるファイル転送レートのピークは1.1Mbps 程度であると判断できる。また、MSU においてクライアントワークステーションの ATM-NIC (ATM-Network Interface Card) のバッファサイズを変更したところ、変更後ではファイル転送レートが著しく改善された。このことから、ATM ネットワークのパフォーマンスを最大限に利用するためにはサーバ、クライアント等のワークステーション、パソコンにおいても適当なチューニングをすることが必要であることが分かる。

(d) 公開実験室 MPEG 1 リアルタイム伝送

図 7 に示すように映像の伝送中はほぼ0.6 Mbps の一定のレートでデータを送出した。

ために、日米間と、日本国内でそれぞれファイル転送を行い、その結果を比較した。

日米間でのファイル転送では、MSU のワークステーションに100Mbyte 強の大容量ファイルを用意し、JST のワークステーションから ftp で上記ファイルを取りにいった。この際、JST 側のワークステーションの TCP のバッファサイズ (デフォルト8,192byte と最大65,536byte)、MSU 側のワークステーションの TCP のバッファサイズ (同上)、転送するファイルのサイズ (100M と 5 M)、を変えて実験した。また、日米それぞれ2 台のワークステーションを使って同時に ftp した場合についても実験した。

その結果は以下のとおりである。

- ・受信側バッファサイズの変更で、パフォーマンスは大きく改善する (130KBytes/sec から250 KBytes/sec へ向上)。
- ・送信側バッファサイズの変更は影響なし。
- ・ファイル容量の大小はパフォーマンスに影響しない。
- ・2 台同時に ftp しても、1 台で ftp した場合とほぼ同じ。

国内での ftp 実験 (理研-JST) は、受信側バッファサイズを最大の65,536Bytes で行った。1 台での ftp 実験では、4,300KBytes/sec (34.4Mbps) となり、日米間での250KBytes/sec の約17倍の速度が出ている。2 台同時の ftp 実験では、2 台合計して4,300KBytes/sec となった。34.4Mbps が上限となっていると判断できる。

以上から、日米間での ftp は日本国内での ftp に比べてかなり遅くなることが分かる。今回の実験では約200ms の伝送遅延が観測されているが、既存の TCP/IP プロトコルを用いたアプリケーションにとっては、この遅延は克服しがたいものといえる。

6. ま と め

本実験は、将来の GII (Global Information Infrastructure) 構築に向けた、マルチメディアの

5. 7 ファイル転送実験

超高速ネットワークでファイル転送を行った場合、伝送遅延時間がどのように影響するかをみる

図6 微生物実験実習サーバ→JSTスイッチへのアウトプット量の測定結果

図7 公開実験室 MPEG 1 リアルタイム伝送時のトラフィック量の測定結果

アプリケーションレベルでの実証実験と位置づけられるものである。実験の結果、以下のような知見を得ることができた。

(1) 地球規模での広帯域ネットワーク利用のデモンストレーション

従来、机上の理論的な可能性として語られてきた、地球規模での広帯域ネットワーク上でのマルチメディアアプリケーションの利用を、現実のものとしてデモンストレーションすることができ、広帯域ネットワークを利用した研究協力への一歩を踏み出すことができた。今後このようなインフラストラクチャが広く実用化されれば、研究者間のコミュニケーションや研究情報を世界レベルで共有することができるという、大きな可能性を実感することができた。

(2) 予想外に大きな伝送遅延の影響

45Mbps という伝送帯域を持ちながらも、200ms という大きな伝送遅延を伴うネットワークでは、様々な制約が発生することが明らかとなった。パケットの送達確認を行う TCP/IP プロトコルでは VOD のようなリアルタイム系のアプリケーションはうまく稼働しない、あるいは、NFS(ネットワーク・ファイル・システム) ではパフォーマ

ンスが大幅に低下するなどの問題点が明らかとなった。

インタラクティブ性を重視するマルチメディアアプリケーションでは、伝送帯域の拡大とともに、伝送遅延の低減、伝送遅延に影響されないプロトコルの採用といった面を考慮する必要性が大きいことが分かった。

(3) アプリケーションまでを含めた広帯域対応の必要性

ネットワーク自身は45Mbps という伝送帯域を持つにもかかわらず、アプリケーションによっては必ずしもこの帯域を有効に利用できない場合があることが判明した。特に、現時点ではこれほどの広帯域ネットワーク環境下での利用を想定していない WWW ブラウザや、簡易 TV 会議アプリケーションなどでは、数100K～数 Mbps の実効転送速度しか得られない場合が多かった。

実際に広帯域ネットワークでのマルチメディアアプリケーションを有効活用するためには、OS やドライバのレベルまでを含めて、アプリケーションを広帯域ネットワーク対応にチューニングする必要のあることが分かった。

~~~~~ 参 考 文 献 ~~~~~

- 1) 白尾隆行, 世界情報インフラの整備およびその実験—G 7 アプリケーション共同研究—, 情報管理, 38(8)678-683 (1995)
- 2) 藤田充苗, 横川忠晴, 材料分野の遠隔実験による広帯域ネットワークの利用, 情報知識学会第5回(1997年度)研究報告会講演論文集, 1997, p.67-70.
- 3) 宮崎智, 菅原秀明, ポストゲノム生物学における広帯域ネットワークの利用, 情報知識学会第5回(1997年度)研究報告会講演論文集, 1997, p.63-66.