

ギガビットネットワークを用いた遠隔ストレージ間編集用映像配信実験

新潟大学工学部情報工学科

間瀬 憲一 仙石 正和

新潟大学総合情報処理センター

長谷川 誠

1. はじめに

インターネット上で音声や動画の転送・配信をリアルタイムで行う技術やサービスが確立されてきた。スーパー・コンピュータなどを利用し、高速なデータ通信を行う高速コンピュータ通信に適した次世代インターネットに関する研究開発も進展している[1]-[5]。次世代インターネットの応用分野のひとつとして遠隔地間での映像編集が考えられる。映像コンテンツはデータサイズが大きく、これを短時間で配信することが映像編集においては要求される。比較的小さなエリア内での映像編集においては、大容量のストレージシステムやコンピュータをファイバチャネルで接続するという形態が考えられるが、広域ネットワークにおいてはこの方法で対応することができない。そこで、遠隔地点間を高速ネットワークで結び、各地点のファイバチャネルと接続させることにより、広域分散型のストレージシステムを構築することが考えられる[6]。これにより、特定分野に関連した映像資料を1ヶ所に集中的に蓄積し、そこに各地点から必要に応じてアクセスすることで資料を共有するという、効率的な映像資料の保存・利用方法も考えられる。

このような観点から、広域・広帯域のストレージ・ネットワークを構築し、運用する技術の確立・検証を目的とし、研究開発用ギガビットネットワーク(JGN)[7]を用いた編集用映像の配信実験を進めている。

本稿では、JGN を用いて、上述の広域分散型ストレージシステムの実験環境を構築し、SCSI プロトコル、TCP/IP でデータブロックを転送する際に必要な ATM セルレート、伝送遅延のスループットへの影響等を評価し、報告する。

まず2章において実験環境について概説し、3章では実験概要について説明する。4章において実験結果を述べるとともに、その考察を行う。

2. 実験環境

図1に、基本となる実験環境を示す。実験網としては、JGN を用いて新潟大学と通信・放送機構幕張リサーチセンター(幕張 RC)を結ぶ形を設定した。新潟大学と幕張 RC の2地点において、FC-NIC を実装したコンピュータ(PC)、記憶装置等をファイバチャネル(FC)スイッチに接続した。両地点の FC スイッチを JGN と新潟大学内 ATM ネットワーク経由で、FC-IWU(ファイバチャネル-ATM 接続装置) [6]を介して接続した。

FC-IWU はファイバチャネルと学内 ATM ネットワークを接続するために用いているが、シングルモード光ケーブルに対応していることから、マルチモード光ケーブルを用いている学内 ATM ネットワークに接続するために、シングルモード-マルチモード(SM-MM)コンバータを介して学内 ATM ネットワークに接続している。

両地点の FC-IWU 間には、制御用と情報転送用の2本の PVC を設定した。各 PVC は UBR モードである。FC-IWU のシェーピング機能を利用して、ピーク速度を 5~50Mbit/s で設定した。

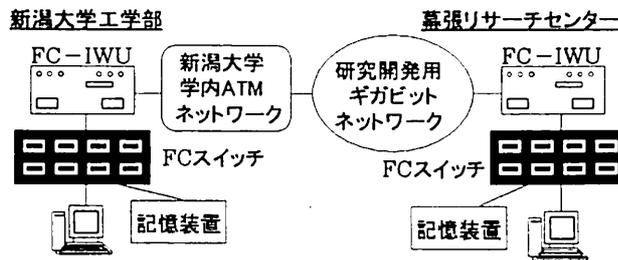


図 1 : 実験環境

3. 実験の概要

3.1 SCSI プロトコルを用いた測定

図 2 の試験構成において、新潟大の PC から、幕張 RC の記憶装置に対して、SCSI プロトコルを用いてデータブロックを読み出す場合のスループットを測定した。プロトコルスタック構成を図 3 に示す。

さらに、実験結果の分析のため、FC-IWU 間をネットワークを介さずにネットワークエミュレータを経由する室内実験系を構成し、同様の実験を行った。測定用ツールとして、Intel 社製のベンチマークツール Iometer を使用した[8]。Iometer は、指定した一定長のデータブロックをディスクから連続的に読み出し、転送し、その際のスループット、I/O 回数、転送エラー等を測定することができるベンチマークツールである。Iometer の転送条件は、映像情報をディスクから読み出し、転送する場合、シーケンシャル・リードに近いと考えられることから、シーケンシャル・リードとした。シーケンシャル・リードでは、直前の I/O 操作で参照したディスクアドレスから順にデータを読み出す。これにより、4.3 に述べるように映像ストリームのフレーム長とほぼ同じ大きさのデータブロックを転送することにより、転送可能な映像レートも推定できると考えられる。

ATM セルレートを 5Mbit/s~39Mbit/s、データブロックサイズを 10kbyte~1Mbyte まで変えた。

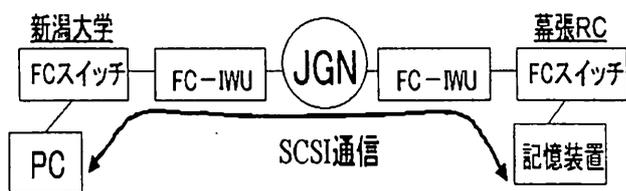


図2:SCSIプロトコルを用いた実験環境

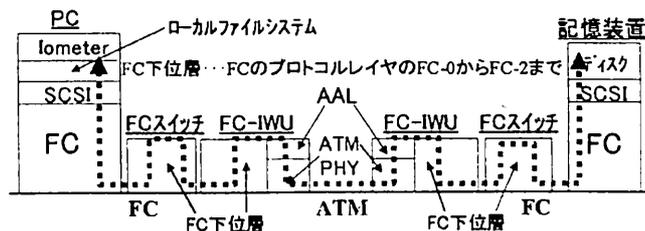


図3:SCSIでのプロトコルスタック構成図

3.2 TCP/IP を用いた測定

図 4 の試験構成において、新潟大の PC から幕張 RC のディスクに対して、TCP/IP を用いてデータブロックを読み出し、スループットを測定した。プロトコルスタック構成を図 5 に示す。

3.1 節と同様に、エミュレータを用いた室内実験系での測定も併せて行った。WindowsNT のネットワーク機能にあるマシン間の共有サービスにより、幕張 RC 側のディスクを新潟大学側の PC のネットワークドライブに割り当てている。ATM セルレートを 5Mbit/s~39Mbit/s、データブロックサイズを 10kbyte~1Mbyte まで変え、TCP のウインドウサイズについては、8kbyte~64kbyte まで変化させた。

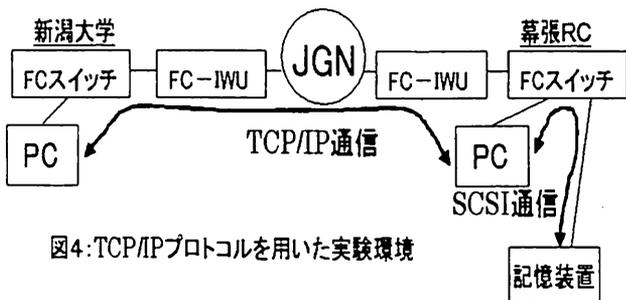


図4: TCP/IPプロトコルを用いた実験環境

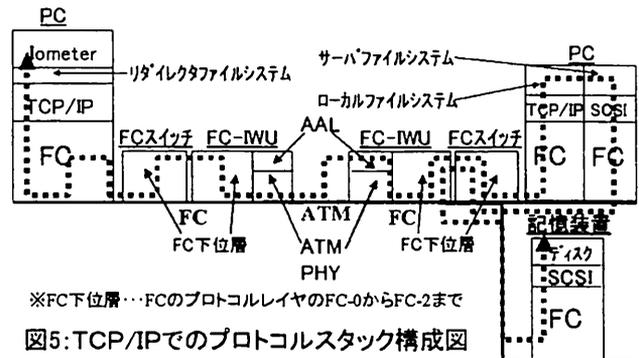


図5: TCP/IPでのプロトコルスタック構成図

3.3 映像配信実験

3.1, 3.2 節の結果をもとに映像配信実験を行った。実験環境を図6に示す。

評価方法としては、表1に示す4種類の映像コンテンツ(Motion-JPEG形式)を配信アプリケーション(Canopus社製 Video Commander32)を用いて、1フレームを1つのデータブロックとして配信し、その結果をVTRに記録し、映像のコマ落ちを確認することによりフレーム損失率を算出した。

なお、本実験で使用するATMセルレートを決定するため、同様の環境でIometerを用いたデータブロック転送実験を併せて行った。このとき、データブロックのサイズをフレームサイズに合わせた。

表1: 実験で用いた映像コンテンツ

コンテンツの再生レート	フレームサイズ
Contents1	1021kbyte/s 34kbyte
Contents2	2033kbyte/s 68kbyte
Contents3	3044kbyte/s 101kbyte
Contents4	4229kbyte/s 141kbyte

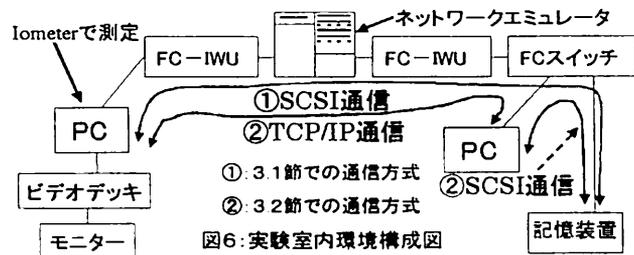


図6: 実験室内環境構成図

4. 実験結果と考察

4.1 SCSIプロトコルを用いた場合

ギガビットネットワーク経由で、SCSIプロトコルを用いた場合のスループットを測定した結果を図7に示す。

図7より、測定した全てのATMセルレートにおいて、データブロックサイズが小さくなるとともに、スループットの値は低下する。この原因は、ネットワークの伝送遅延によると考えられる。

次に、伝送遅延によるスループットへの影響を評価するために、ATMセルレート39Mbit/sでさまざまな伝送遅延をエミュレータ経由で付加した場合のスループット測定結果を図8に示す。ネットワークエミュレータは、一定遅延を1ms単位で設定できる。

図8より、遅延を増加させると、データブロックサイズにかかわらずギガビットネットワーク経由のスループットは、エミュレータによる伝送遅延を5ms付加した場合よりも若干大きく、伝送遅延を4ms付加した場合よりも若干小さいことがわかった。このことから、ギガビットネットワークの伝送遅延は4msから5msの間であると推定される。また、遅延0msでのスループット

プットの上限值が ATM セルレートよりも小さい値となっている(例えば, ATM セルレートが 39Mbit/s のとき, スループットは 83%). この要因としては, ATM セルへの格納効率, FC-IWU による伝送遅延への影響や PC での処理遅延の影響が考えられる.

次に, 導出した伝送遅延推定式を用いて伝送遅延を求めた結果を図 9 に示す. 図 9 より, ギガビットネットワークの伝送遅延は, 4.5~4.7ms であることがわかった.

以上のことから, ギガビットネットワーク経由での伝送遅延の推定値がネットワークエミュレータ経由での値とほぼ一致することから, 伝送遅延推定式では, ほぼ必要な精度でギガビットネットワークの伝送遅延を求めることができると考えられる.

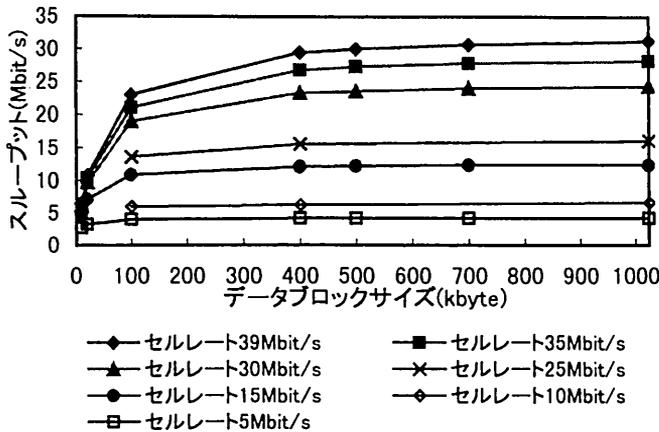


図 7: SCSI プロトコルを用いたときのスループット

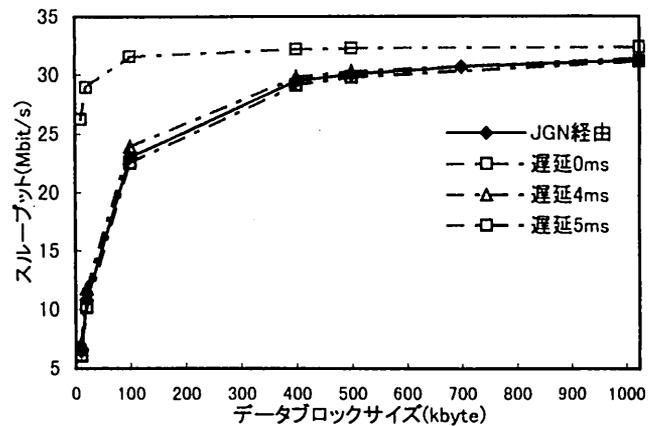


図 8: ATM セルレート 39Mbit/s でのスループット

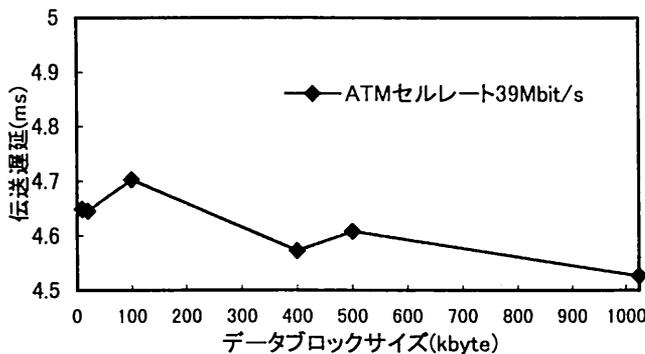


図 9: 伝送遅延計算式による計算結果

4.2 TCP/IP を用いた場合

ギガビットネットワーク経由で, TCP/IP を用いた場合のスループットを測定した結果を図 10 に示した. 今回の実験では, ATM セルレート, データブロックサイズと TCP のウィンドウサイズを変化させた.

ウィンドウサイズが大きくなるにつれて, 確認応答なしに連続的に送信できるデータ量が大きくなるため, スループットの値は大きくなる. しかし, ウィンドウサイズが 32kbyte と 64kbyte の場合を比べると, ウィンドウサイズが 2 倍になっているにもかかわらず, スループットの値はあまり変わっていない. これは, ウィンドウサイズを大きくしても, 一度に送信できるデータ量が ATM セルレートの影響で限られてしまい, ウィンドウサイズをそれより大きくしてもウィンドウサイズを最大限利用することができないためである. ウィンドウサイズ(W)の限界は, 遅延 0ms でのスループットを T とすると,

$$W[kbyte] = T[kbyte/s] \times 2 \times \text{伝送遅延}[s]$$

で求めることができる. 表 2 にギガビットネットワークでのウィンドウサイズの限界を示す.

次に、伝送遅延によるスループットへの影響を評価するため、ATM セルレートを 39Mbit/s に固定し、ネットワークエミュレータ上で伝送遅延を付加させた場合のスループットの測定結果を図 11 に示す。図 11 では、TCP ウィンドウサイズを 64kbyte とし、ネットワークエミュレータ上でそれぞれ伝送遅延 0ms, 4ms, 5ms を付加させた場合のスループットの測定結果とギガビットネットワークを経由した場合のスループットを比較している。

図 11 より、ギガビットネットワーク経由のスループットが伝送遅延を 5ms 付加した場合よりも若干大きく、伝送遅延を 4ms 付加した場合よりも若干小さいことから、ギガビットネットワークの伝送遅延は、4.1 の実験結果と同様に 4ms から 5ms の間であることがわかった。

また、導出した伝送遅延計算式で求めた値について、図 12 に示す。ATM セルレートは 39Mbit/s とした。

図 12 から、TCP/IP では SCSI の場合と異なり、伝送遅延はほぼ一定にはならないことがわかった。

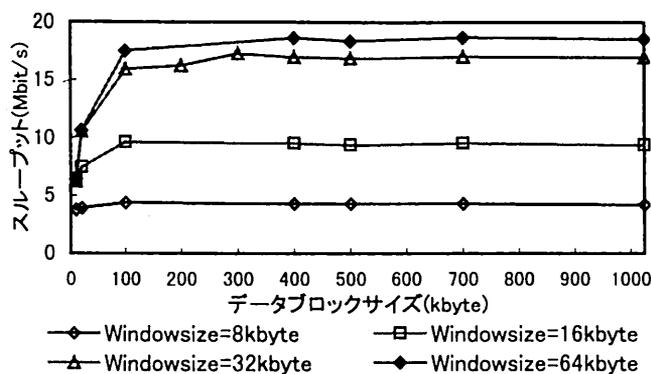


図 10 : TCP/IP を用いたときのスループット
(ATM セルレート 39Mbit/s)

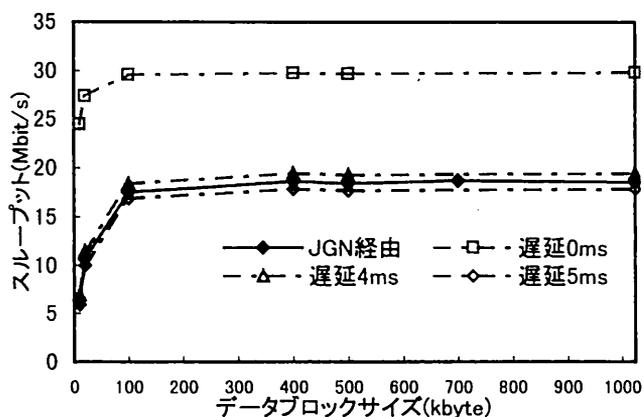


図 11 : ATM セルレート 39Mbit/s でのスループット

表 2 : ウィンドウサイズの限界 (伝送遅延 4.6ms)

ATM セルレート	ウィンドウサイズの限界
5Mbit/s	4.51kbyte
15Mbit/s	13.43kbyte
30Mbit/s	26.40kbyte
39Mbit/s	34.04kbyte

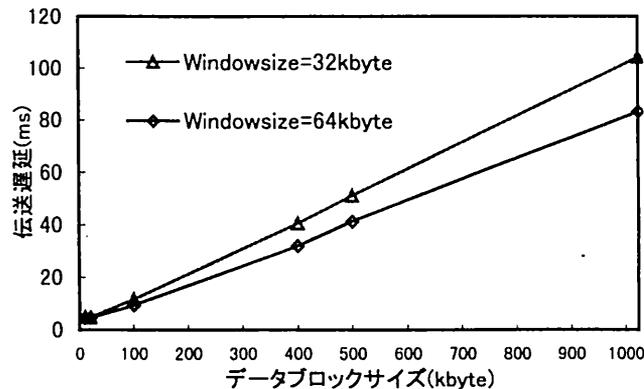


図 12 : 伝送遅延計算式による計算結果

4.3 映像配信実験結果

実験に用いた映像配信アプリケーションの詳細は不明であるが、もっともシンプルなものとして、図 13 のモデルを考える。このモデルでは、送信要求を出していたフレームデータを受信してから、次のフレームデータをディスクに送信要求する形式となっている。フレームと同じサイズのデータブロックを Iometer で連続的に送信し、その際のスループットの値がコンテンツの再生レートよりも大きければ、フレーム損失なしに映像を伝送できると考えられる。従って、再生フレームレートから所要 ATM セルレートが得られる。表 1 に示したフレームサイズをデータブロックのサイズとし、ネットワークエミュレータの遅延を 5ms としたときのスループット測定結果を図 14, 15 に示す。図 14, 15 から、SCSI プロトコルでは、コンテンツ 1, 2 が、TCP/IP ではコンテンツ 1 だけがフレーム損失なしに伝送できると推定された。

次に、上記のように求めた ATM セルレート(所要セルレート)で映像を配信し、その際のフレーム損失率を表 3,4 に示す。その際に、所要セルレートが 39Mbit/s を超える場合はセルレート 39Mbit/s で伝送した。コンテンツの再生が開始されてから 10 秒間(300 フレーム)のフレーム損失数を測定し、フレーム損失率を算出した。

表 3,4 から、SCSI プロトコルの場合では推定通りフレーム損失はほとんど確認されなかった。一方で、TCP/IP を用いた場合は推定とは異なり、フレーム損失率はやや高くなった。以上のことから、本実験での映像伝送は、SCSI の場合はほぼ図 13 の動作モデルに沿った形で行われ、TCP/IP では推定値よりも大きなセルレートが要求されると考えられる。また、伝送した映像を分析した結果より、本実験で用いた映像配信アプリケーションには以下のような特性があると推測される。

- ・アプリケーション内部で映像フレームの時刻同期をとっている。
- ・アプリケーションで定めた時間に、再生すべき映像フレームが到着していない場合は、再生された最新の映像フレームを、時刻どおりにフレームを受信するまで連続して再生する。これは、映像を途切れなく再生することを目的にしていると考えられる。
- ・最初の映像フレームを受信し、再生するまで、アプリケーションは映像の再生を開始しない。それまでは、映像の再生を要求してもポーズ状態が続いている。

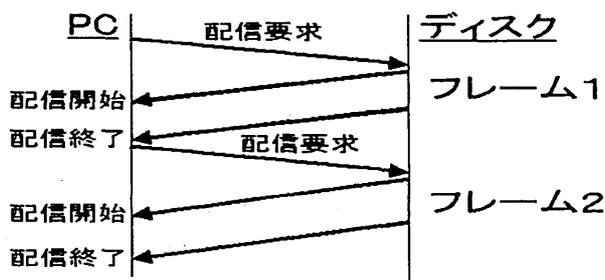


図 13: リアルタイム映像配信の動作モデル

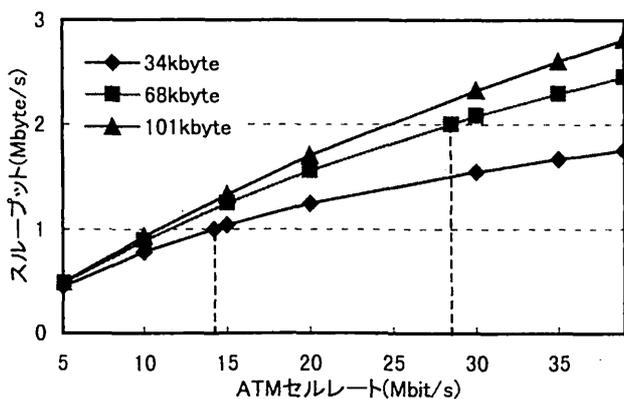


図 14: SCSI プロトコルでのスループット

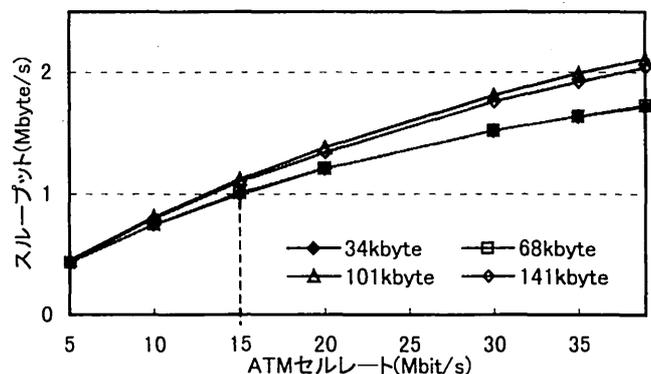


図 15: TCP/IP でのスループット (ウィンドウサイズ: 64kbyte)

表 3: SCSI プロトコルでのフレーム損失率

伝送した ATM セルレート	フレーム損失率(%)	
C1	14.2Mbit/s	0
C2	28.5Mbit/s	0.67
C3	39.0Mbit/s	44.66
C4	39.0Mbit/s	57.33

表 4: TCP/IP でのフレーム損失率 (ウィンドウサイズ: 64kbyte)

伝送した ATM セルレート	フレーム損失率(%)	
C1	15.0Mbit/s	6.0
C2	39.0Mbit/s	20.67
C3	39.0Mbit/s	50.33
C4	39.0Mbit/s	63.33

5. おわりに

研究開発用ギガビットネットワーク(JGN)を用いて SCSI プロトコル, TCP/IP でデータブロックを転送した際に必要な ATM セルレート, 伝送遅延のスループットへの影響等の評価を行った。

実験の結果, ギガビットネットワークの伝送遅延は 4.5~4.7ms の値となり, 今回の実験環境においては, TCP/IP よりも SCSI を用いた方が高いスループットを得ることがわかった。この要因としては, CPU の処理負荷が大きいことが考えられる。また, SCSI と TCP/IP による映像配信特性の相違が明らかになった。

今後は, UDP/IP におけるギガビットネットワークの伝送特性についても, 測定により明らかにしていく。

また, 実際に様々な圧縮率の映像伝送を行い, 最適な ATM セルレートを求めるとともに, その際の評価方法についても検討していく。

参考文献

- [1] <http://www.mbone.com/>
- [2] <http://www.vbns.net>
- [3] J. Jamison et al., "vBNS: not your father's Internet", IEEE Spectrum, Vol.35, Num7, July 1998
- [4] <http://www.ucaid.edu/abilene>
- [5] <http://www.canarie.ca/eng/networks/optical/optical.html>
- [6] 中山良平, 佐藤和弘, 成瀬勇一, "ファイバチャネルの広域網接続方式", 信学技報 IN98-42, 1998
- [7] <http://www.shiba.tao.go.jp/JGN/index.html>
- [8] <http://developer.intel.com/design/servers/devtools/iometer/>