

平成 13 年度

学士学位論文

教育現場での LIVE 配信における 画像品質評価

Image quality evaluation of the Real-time Video
delivery in the school

1020307 中務 秀和

指導教員 清水 明宏

2002 年 2 月 8 日

高知工科大学 情報システム工学科

要 旨

教育現場での LIVE 配信における 画像品質評価

中務 秀和

近年，インターネット接続の普及が進んでおり，ケーブルテレビや DSL といった安価で高速なネットワークが提供されてきている．それに伴い，高速なインターネット回線を利用して映像や音声を使ったサービスが提供され始めている．その中でも，実時間動画像音声配信(LIVE 配信)は注目されており，普及していくものと考えられる．教育現場においても高速化は進んでおり，LIVE 配信を用いて効果的な授業ができると考えられる．

高知県では，ケーブルテレビ回線を用いた高速なインターネット回線が，高知市内の学校に提供されている．

現在，配信システムは様々な種類があるが，今回は Real Networks 社の Real System を用いて，配信実験を行った．

その結果から，高知学校インターネットシステムにおける教育に適したパラメータ，ネットワークの問題点を検討することができた．

キーワード LIVE 配信, Real-Video, 教育, 高知学校インターネット, パラメータ

Abstract

Image quality evaluation of the Real-time Video delivery in the school

Hidekazu NAKATSUKASA

Recently, the internet connection that uses Cable Television Network and DSL Connection is diffusing. The service that uses the picture and voice by utilizing the high speed Internet is beginning. Above all, Real-time Video Delivery is widely noticed. The high speed network is introduced to the school. I think that an effective lesson is produced by using Real-time Video Delivery Technology.

In Kochi Prefecture, high speed internet system is servicing.

Now, there are many kinds of Real-time Video Delivery system, and I did a experiment with Real System made of Real Networks, Inc.

As the result of an experiment, I point out the problem of internet system in Kochi and I propose the parameter of Real-time Video delivery system in the education scene.

key words Real-time Video delivery, Real System, Education, Parameter

目次

第1章	はじめに	1
第2章	研究背景	2
2.1	教育現場でのコンピュータ利用	2
2.2	教育機関へのインターネット回線の普及	3
2.3	教育現場におけるLIVE配信の利点	5
2.4	検討項目	6
第3章	LIVE配信システム	8
3.1	既存の配信システム	8
4.1.1	Windows Media Technology System	8
4.1.2	QuickTime Streaming System	9
4.1.3	Real System	9
3.2	システム比較	10
第4章	配信システム設計	12
4.1	実証フィールド	12
4.2	配信システム	15
4.3	キャプチャ・エンコーダ	15
4.4	サーバ	16
4.5	クライアント	17
4.6	パラメータ	18
4.6.1	解像度	18
4.6.2	フレームレート	18
4.6.3	ビットレート	19

第5章	配信実験	21
5.1	実験結果	24
5.1.1	送信ビットレートと，ネットワーク帯域負荷	24
5.1.2	表示されたフレームの割合	25
5.1.3	各パラメータにおける配信状態	26
5.2	児童へのアンケート結果	28
第6章	おわりに	31
	謝辞	32
	参考文献	33

第 1 章

はじめに

近年，学校におけるインターネットの接続率は年々増加している．またケーブルテレビ（CATV）や，DSL によるインターネット接続の普及により，接続環境の高速化，低価格化が進んでいる，それに伴い，インターネットを通じて提供されるサービスも高速化に対応し，映像や音声といった，高速環境を要求するコンテンツが増えてきている．その中でもインターネットを用いて行う LIVE 配信¹ は注目されており，現在コンサート等イベントの生中継や，国会中継などで試験的に用いられており，新しいインターネットの利用法として，今後普及していくものと考えられる．教育現場においても LIVE 配信を用いて効果的な授業ができるのではないかとと思われる．

高知県においても，高知市内の学校 15 校に CATV 回線を用いた高速なインターネット環境（高知学校インターネット I システム²）が提供されており，LIVE 配信を行える環境が整っている．しかし LIVE 配信に関して，あまり実験は行われておらず，配信パラメータ等が未知である．

本研究では高知県の高速ネットワークを用い，学校に LIVE 配信し，品質に対する評価を行い，教育に適したパラメータを評価・提案する．

¹ 実時間の動画像や，音声の配信

² 高知学校インターネット I システムについては，第 4 章に詳細を載せた．

第 2 章

研究背景

2.1 教育現場でのコンピュータ利用

教育現場において、コンピュータの導入が進んでいる。設置率は、以下の表の通りとなっている（図 2.1.1）。

表 2.1 コンピュータ設置率 （文献[1]より作成）

	学校数	コンピュータ設置学校数	割合
小学校	23506 校	22740 校	96.7%
中学校	10407 校	10326 校	99.2%
高等学校	4151 校	4108 校	99.0%
その他	931 校	919 校	98.7%
合計	38995 校	38093 校	97.7%

表から明らかだが、ほぼすべての学校でコンピュータが設置されている。これらの大部分は、パソコン教室といったようなコンピュータ専用教室に設置されており、教科を問わず様々な授業で使用されている。今後、教育用コンテンツの充実が課題となっている。

2.2 教育機関へのインターネット回線の普及

学校におけるインターネットの接続率は年々増加し、平成 13 年 文部科学省調査によると、平成 12 年度末で公立学校全体の 80%以上がインターネットに接続している（図 2.1 参照）。また、高知県においては高知工科大学 学生グループ CAST³ の働きかけも手伝い、公立の学校すべてが、インターネットに接続しており、岐阜県と並んで全国 1 位である（図 2.2 参照）。最近では CATV や DSL による高速で安価なインフラが提供され、そのインフラをインターネット接続に利用する学校が増えてきた。また、学校におけるインターネットの利用増加に伴い、すでにインターネット回線を設置している学校についても、より高速な回線へ切り替えを行っている学校も増えてきた。高速なネットワークを用いることにより、動画像や高品質な音声といった、高いビットレートを必要とするデータもスムーズに配信することができる。高速なインターネット回線を利用した LIVE 配信が、教育現場において普及し、様々な利点から今後ますます利用されていくものと考えられる。

³ CAST とは、Communication Activities Supporting Team の略称でインターネットコミュニケーションへの理解を深め地域情報化を促進させる事を目的とした、高知工科大学の学生サークル[2]。

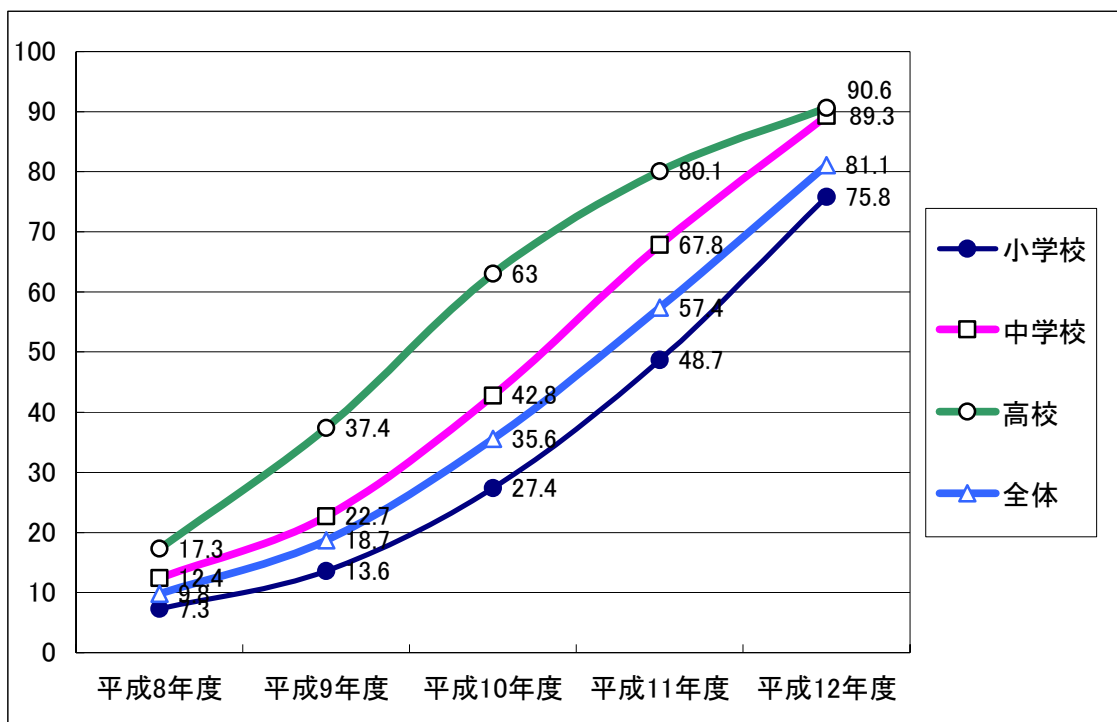


図 2.1 学校種類別インターネット接続率（文献[1][3][4][5][6]より作成）

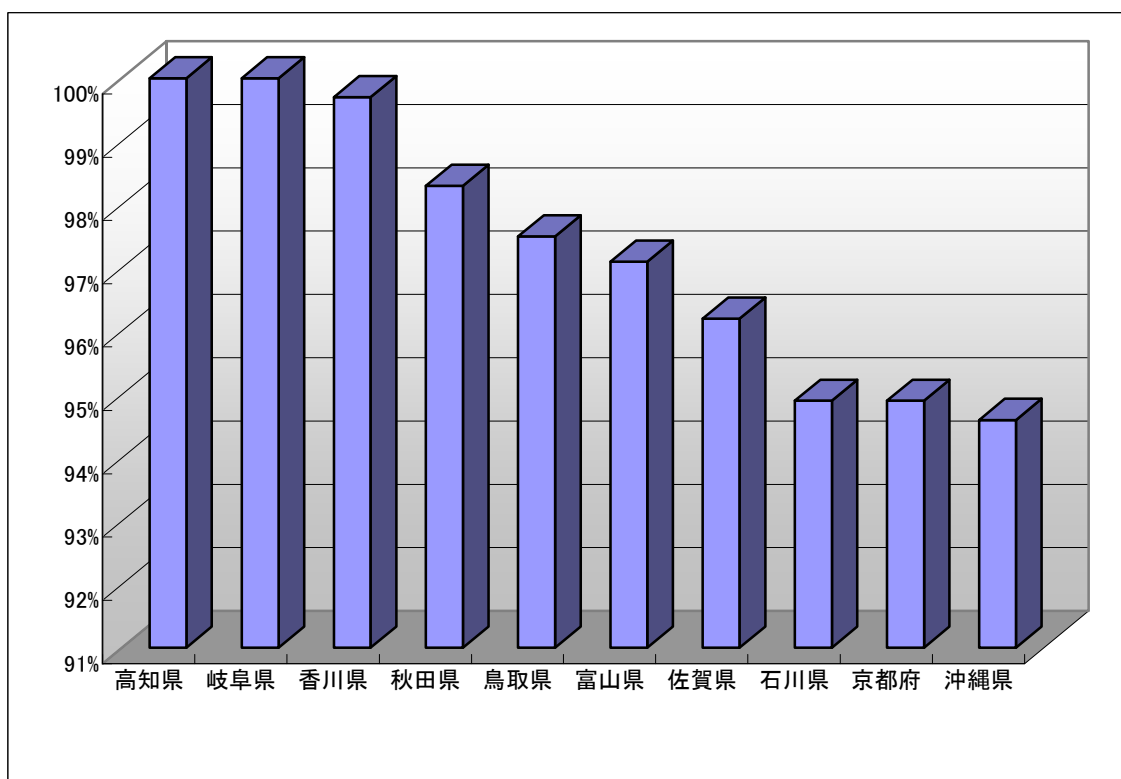


図 2.2 県別学校のインターネット接続割合（上位 10 校）（文献[1]より引用）

2.3 教育現場における LIVE 配信の利点

教育現場において LIVE 配信を用いると、授業の共有化、即時性、コンテンツの再利用性といった点で利点があると考えられる。

例えばある分野に詳しい先生がいて、その先生の授業を受けたい人が、複数の学校にいた場合、LIVE 配信を用いなければこの先生の授業を受けるには、

1. その先生がそれぞれの学校に出向いて授業をする
2. あらかじめ撮影しておいたビデオを見る

といった方法が考えられる。前者は、現在の学校の形態であり、後者は、放送大学といった所で利用されている。

しかしこれらの方法では、前者の場合、先生にとって場所の移動といった負担があり受けたい人がいる場所の数だけ移動する必要がある、先生にとっては貴重な時間を移動に費やすことになる。後者の場合、授業を受けている人にとって一方的な授業であり、質問をしたくても、その場では質問できず、すぐには疑問が解決できない等、教育的な効果は通常の授業より期待できない。

LIVE 配信を用いることにより、先生はある一つの地点で授業を行う事ができ、移動の負担は軽減される。そして、一つの場所で行う授業を、一度にたくさんの地点に配信することが可能であり、多数の学習者が同時に授業を行うことができる。また授業を受ける側としては、LIVE 配信の即時性を生かし、疑問点等を電子メール等のインターネット上のシステムを用いて質問を行う事ができる。質問を受けた先生はその LIVE 配信の中で質問に答える、といった双方向な授業ができ、教育的な効果としても優れており、期待できると思われる。

また、LIVE 配信を行っている際、後で配信可能なファイルに変換、記録しておき、好きなときに配信データを取り出せるような形態でサーバ等に蓄積しておけば、授業後に何

度でもその講義を見ることができ、復習を行うこともできる。また、双方向性は失われることになるが、その授業に参加できなかった人が、後からその授業の内容を見ることがや、県境や国境を越え、世界中どこからでも、欲しい先生の授業を見聞きすることができる。現在不足しがちなインターネットを用いたマルチメディアコンテンツの充実につながると思われる。

2.4 検討項目

本研究では、以下の点を主に検討していく。

1. コンテンツのパラメータ
2. ネットワーク帯域を考慮したパラメータ
3. 既存の環境において、LIVE 動画コンテンツが、閲覧できるか

まず、1 番目の検討項目であるが、授業を LIVE 配信によって送信するような場合、品質があまりにも低下し、内容がわかりにくければ、教育にとって効果的ではない。送信するコンテンツの映像と音声の圧縮率、転送レート等を調整し、最適パラメータを見つける。

次に、2 番目の検討項目であるが、これは、LIVE 配信の実証実験があまり行われておらず、配信時におけるネットワーク性能が未知数であるため、それを明らかにする。

3 番目の検討項目は、現在高知県の小学校、中学校に導入されている機器で、LIVE 動画コンテンツが利用可能であるかの検討である。性能が高いことに越したことはないが、LIVE 配信のサービスを受けるために、機器を入れ替えるのは、あまり合理的ではない。現在配置されている機器を用いることができれば、すぐにでも LIVE 配信を用いることができ、LIVE 配信が更に身近な存在になると考えられる。

また、エンコード機器等の配信側機器も、ノートパソコンといった携帯に便利な機器を用いることができると、各教室での授業を配信する際には手軽で、かつ有効であると考えられる。しかし、ノートパソコンの性能はデスクトップ型と比較し、劣る点が多い。どの程度の性能を有する機器が配信機器として使えるのか、併せて検討する。

第 3 章

LIVE 配信システム

LIVE 配信の概要を説明する。映像や音声をコンピュータに取り込み、ネットワーク上に送信できる形式にリアルタイムで符号化、圧縮処理し、配信用の機器（サーバ）にデータを送る。ユーザが扱う機器（クライアント）からの操作で、サーバからクライアントへデータが送られる（複数地点からの同時接続も可能）。データを受信したそれぞれのクライアントで、送られてきたデータをリアルタイムで展開、復号し、送信されてきた映像や音声を再生するというシステムである。つまり LIVE 配信を簡単に言うと、テレビ放送のように、離れた複数の地点にリアルタイムで映像、音声を配送する技術である。

現在使われている配信技術・配信方式を見ていくことにする。

3.1 既存配信システム

以下に、主な配信システムの例を述べる。

3.1.1 Windows Media Technology System [7]

Microsoft 社製のシステムである。現在販売されている Microsoft 社製 OS(Operating System)の Windows であれば、Windows Media Player という閲覧用ソフト(プレーヤー)が、既に組み込まれている。組み込まれていないバージョンの Windows や、Windows 以外の OS を使用している場合、最新バージョンに更新したい場合は、無料でプレーヤをイ

ンターネット経由でダウンロードし、使用することができる。

2002 年 2 月 1 日現在、対応している OS は、Windows, Apple Computer 製 Mac OS ver8.1～10, Sun Microsystems 社製 Solaris, Microsoft 社製 PDA 用 OS の Pocket PC である。

3.1.2 QuickTime Streaming System [8]

Apple Computer 社製のシステムである。配信側では、QuickTime Streaming Server と、受信には QuickTime Player を用いる。W3C(World Wide Web Consortium)[9]の勧告するマルチメディア制御言語 SMIL(Synchronized Multimedia Integrated Language)に対応している。基本的な機能を有した製品については、インターネット経由により無料で手に入れ使用できる。高度な機能を有した製品は、有償である。2002 年 2 月 1 日現在、プレーヤが対応している OS は、Windows, Mac OS のみである。

3.1.3 Real System [10]

Real Networks 社製のシステムである。インターネット上での音声、映像配信技術としては、先駆者であり、ネットワーク帯域が余り広くなかった時から開発されており、低帯域でも高品質な配信が行えるよう工夫されている。配信側では、Real Server を用い、受信には RealPlayer を用いる。SMIL に対応している。プレーヤは OS 標準搭載ではないが、必要な場合には、基本的な機能を有した製品については、サーバ、プレーヤともインターネットを経由し、無料でダウンロードし、使用することができる。複数の帯域を混在させたデータを用いる機能や、回線状況や、帯域変化に応じて、フレームレートや帯域をダイナミックに変化させて、再生するデータのとぎれを最小限にする機能を搭載している。

2002 年 2 月 1 日現在、対応 OS は Windows, Mac OS, Solaris, Linux である。

3.2 システム比較

各システムの対応 OS 別で比較し，示す（表 3.1）.

表 3.1 各システムの対応 OS 比較

		Windows Media(*1)	QuickTime(*2)	Real System[7]
クライアント側 再生用ソフト 対応 OS	Windows 95 以降	○	○	○
	Mac OS 8.1 以降	○	○	○
	Linux	×	×	○
	UNIX	△(*3)	×	○
エンコード側 配信側 対応 OS	Windows 95 以降	○	○	○
	Mac OS	×	○	○
	Linux	×	×	○
	UNIX	×	×	△(*3)
配信サーバソフト 配信側 対応 OS	Windows	○(*4)	△制限付き(*5)	○(*6)
	Mac OS	×	○(*7)	×
	Linux	×	△(*5)	○
	UNIX	×	△(*5)	○

(*1) Windows Media Technology System

(*2) QuickTime Streaming System

(*3) Solaris のみ対応

(*4) Windows 2000 Server に付属している物を使うか，インターネット経由で無償ダウンロード

(*5) QuickTime Streaming Server を使うことはできず，オープンソースの Darwin Streaming Server を使う必要があり，Windows を用いる場合，Windows NT Server または，Windows 2000 Server のみ，使用可能

(*6) Windows NT / Windows 2000 推奨.

(*7) Mac OS X Server が必要

表 3.1 から，クライアント側，配信側共，対応システムが一番多いのは，Real System だ
ということがわかる．

第 4 章

配信システム設計

4.1 実証フィールド

今回実証フィールドとして、高知学校インターネット I プロジェクトのネットワークを用いることとした。学校インターネットプロジェクトとは、総務省・文部科学省（旧文部省・旧郵政省）が連携したプロジェクト（H.10 年 3 月 補正）で、全国 30 地域の小中高等学校 1050 校をインターネットへ接続しており、高知県等 7 地域はネットワークを通じて利用する教育用コンテンツの整備も行われている。高知市内においては、15 校（小学校 8 校、中学校 7 校）が高速なケーブルテレビネットワークにより接続され上り 1.5Mbps、下り 30Mbps の帯域を持っている。インターネットやマルチメディア教育用コンテンツを利用することができるよう、ネットワークが構築されている[11]。今回の実験では、この高知学校インターネット I のシステムを用いて実験を行うこととし、高知ケーブルテレビ株式会社内に設置されてある高知学校インターネット I プロジェクトで使用されている機器を活用し、配信サーバとした。キャプチャ・エンコード機器、カメラは、持ち込むこととした。高知県高知市立介良潮見台小学校の、コンピュータ室に導入されている機器をクライアントとし、配信されてくる映像・音声を、再生する。

図 4.1 に、高知学校インターネット I ネットワーク図を、図 4.2 に、今回使用するネットワーク概要図を示す。

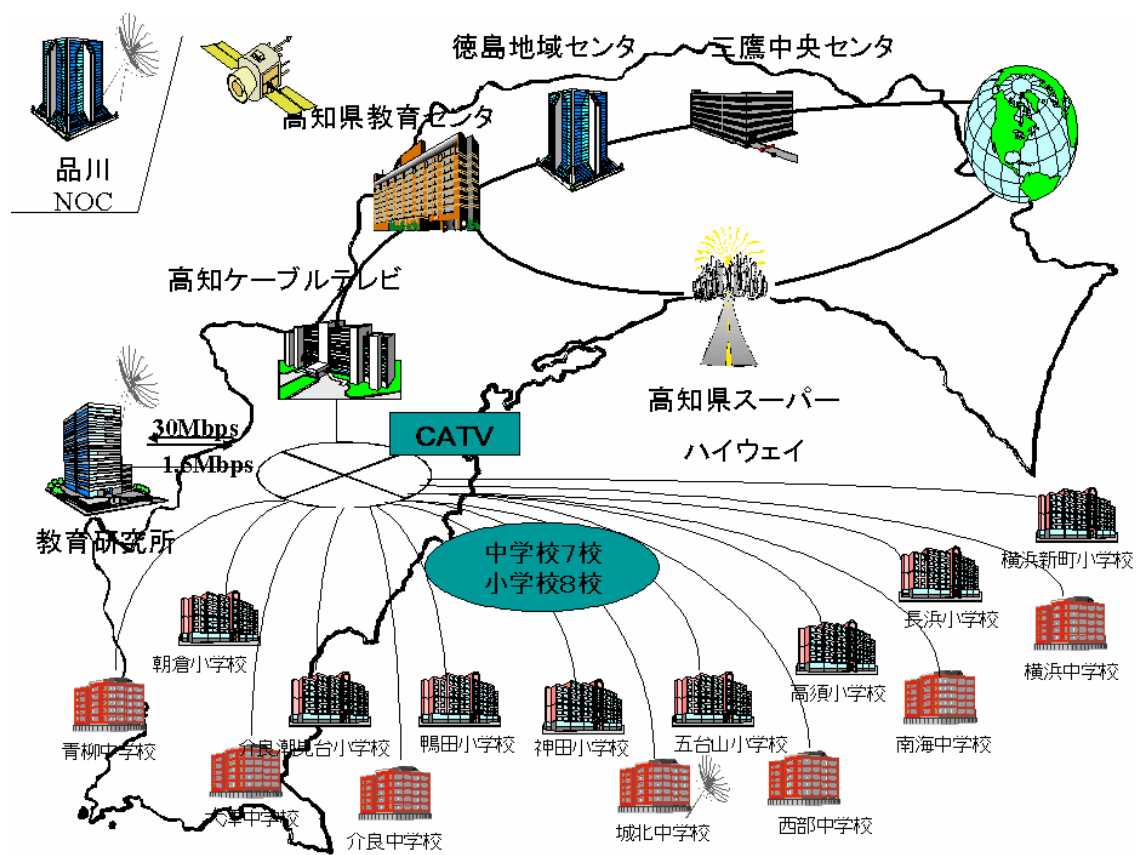


図 4.1 高知学校インターネット図（文献[11]より引用）

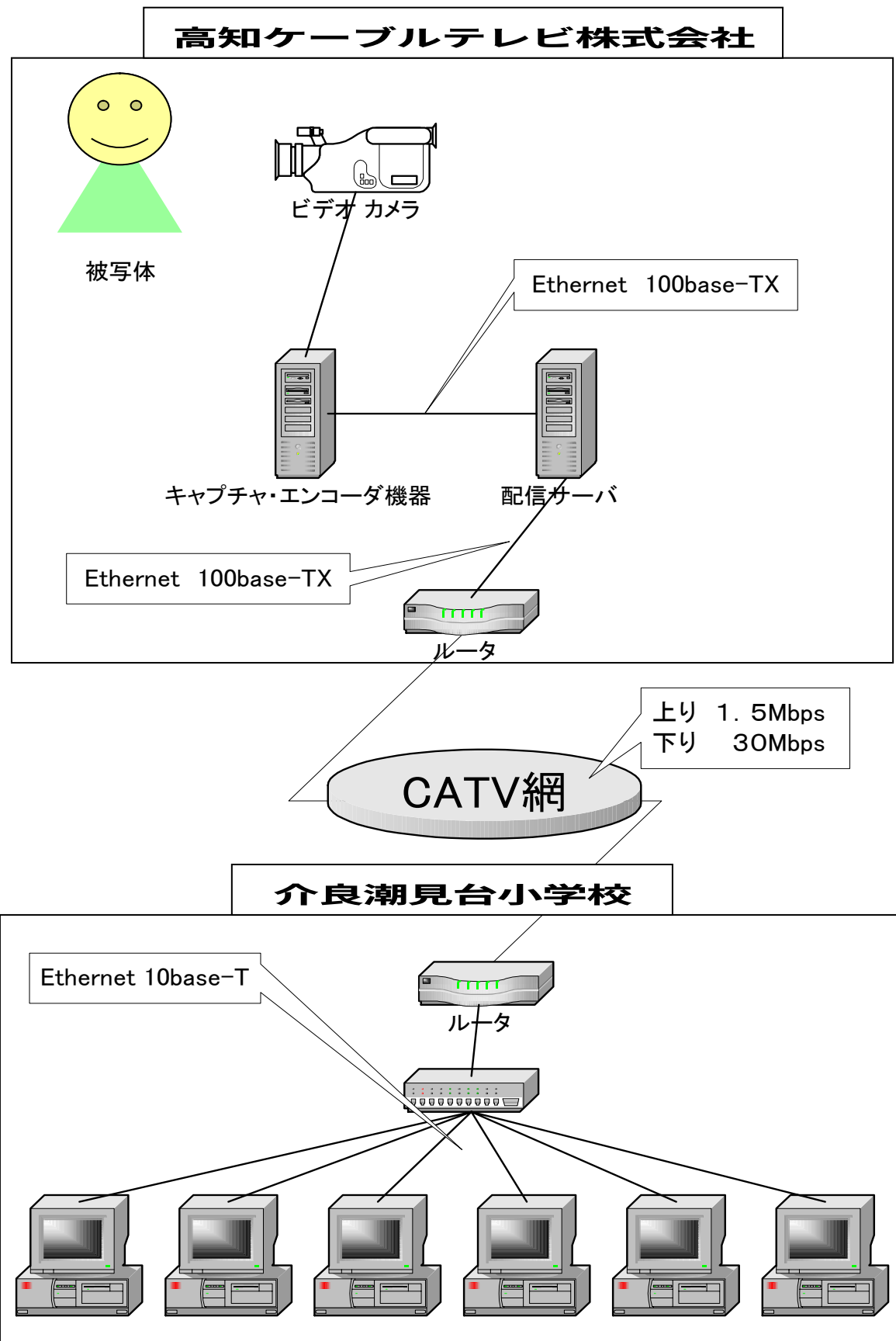


図 4.2 配信実験機器構成

4.2 配信システム

配信システムを選定するにあたって、研究室内で試験実験を行った。高知学校インターネット□プロジェクトで、配信等のサーバとして利用できるよう、高知ケーブルテレビ内で Windows システムが用意され、稼働している。システムの詳細等は後述するが、OS は Windows NT である。3 章で、現在使われている配信システムを挙げ、対応 OS を述べたが、この中で QuickTime Streaming System については、Mac OS X を搭載した機器を用意するか、Windows NT Server または、Windows 2000 Server を用いる必要があり、高知学校インターネット□プロジェクト環境下で QuickTime Streaming System を使うには、システム自体を入れ替える必要があり、あまり良い方法ではないと考えた。配信では Windows Media Technology System か、Real System のどちらかを使用することとし、その両方で試験実験を行い、システム選定を行った。

両システムとも、キャプチャ、エンコード、配信、受信が行え、稼働することが確認できた。しかし、Windows Media Technology System は、Real System と比較し、同様のパラメータ、実験した際にも、キャプチャ・エンコード機器の負荷がかなり大きく、キャプチャ・エンコード機器の処理限界により、コマ落ち、同期ずれ、ノイズ等の品質低下が発生した。これらも考慮し、対応 OS の多さ、品質、今回の実験とは直接関係ないが教育用コンテンツ制作などにも活用できる SMIL を利用することができることも考慮し、Real System を用いることとした。

4.3 キャプチャ・エンコーダ

キャプチャ・エンコーダシステムとして、以下のスペックを持った機器を用いた(表 4.1)。

表 4.1 実験に用いるキャプチャ・エンコード機器のスペック

項目	構成
CPU	PentiumIII-1GHz
メモリ	512MB
ハードディスクドライブ	13GB
OS	Microsoft Windows98 Second Edition
ネットワークインタフェース	Ethernet 100Base-TX 1ポート
入力	アナログビデオ入力, アナログオーディオ入力
キャプチャ・エンコードソフト	Real Producer G2 Plus

4.4 サーバ

配信サーバとして、以下のスペックを持った機器を用いた(表 4.2).

表 4.2 実験に用いる配信サーバのスペック

項目	構成
CPU	Pentium II-450MHz ＊ 2 基
メモリ	256MB
ハードディスクドライブ	40GB
OS	Microsoft Windows NT 4.0
ネットワークインタフェース	Ethernet 100Base-TX 1ポート
サーバソフト	Real Server G2

4.5 クライアント

受信クライアントとして、以下のスペックを持った機器2種類を用いた(表 4.3)(表 4.4)。

表 4.3 実験に用いるクライアントのスペック (高スペック機)

項目	構成
CPU	Pentium II -400MHz
メモリ	32MB
ハードディスクドライブ	4.3GB
OS	Microsoft Windows 98
ネットワークインタフェース	Ethernet 100Base-TX 1ポート (*1)
受信・再生ソフト	Real Player 8 Basic

(*1)学校内のネットワークが 10base-T であるのでインターフェースの性能が出し切れていない。

表 4.4 実験に用いるクライアントのスペック (低スペック機)

項目	構成
CPU	Pentium-200MHz
メモリ	32MB
ハードディスクドライブ	3.2GB
OS	Microsoft Windows 95
ネットワークインタフェース	Ethernet 10Base-T 1ポート
受信・再生ソフト	Real Player 8 Basic

小学校には、高スペック、低スペックの機器がそれぞれ5台、11台配備されている。

4.6 パラメータ

研究室内配信試験で用いた事前実験環境で、パラメータの選定を行った。

4.6.1 解像度

まず、画像解像度であるが、一般的には、VGA(Video Graphics Array)[12]の画像サイズ(640*480 pixel)を基準に、その四分の一のピクセルの QVGA(Quarter Video Graphics Array)の画像サイズ(320*240 pixel)等を用いるが、事前配信試験の際、帯域等は適当に設定し QVGA で配信実験を行った場合、負荷が大きく、エンコード機器の CPU 使用率がかなり高い状態 (90%~100%) となった。

次に、エンコードソフトで用意されている 1 段階解像度を落とした 240*180 pixel で実験を行ったところ、エンコード機器の CPU 使用率も 60~80%と減り、安定してキャプチャ→エンコードと行うことができた。

また、320*240, 240*180 の 2 種類の解像度を用いて、サーバの処理が影響でないう、あらかじめ作っておいた動画ファイルを機器内のハードディスクドライブに、学校に導入されている低スペック機と、同等の性能の機器で実験を行ったところ、違いが顕著に現れ、240*180 のパラメータを用いた方が、画像の表示において動きが滑らかな結果が得られた。

以上のことより、240*180 のパラメータを基本パラメータとして用いることとした。

4.6.2 フレームレート [13]

フレームレートに関して、一般的に動画像を指定されたビットレート c [Kbit/sec]で符号化する際、フレーム当たりの平均ビット量 s [Kbit/frame]と、フレームレート t [frame/sec]の関係は、次式で表され、

$$c = st \quad (\text{式 1})$$

となり、フレームレートを上げるとフレーム当たりの平均ビット量が削られてしまうという、互いにトレードオフの関係にある。

今回用いる Real System は、細かくフレームレートを決めていても環境に応じて動的にフレームレートを調整する機能を搭載しているので、パラメータ設定時に規定するフレームレートは、上限値を設定する事にすぎない。帯域が確保できないなど、ネットワークの状態が悪い場合、フレームレートを削る等して、配信を継続することができる。

状態の良いネットワーク環境下において、30fps⁴ のパラメータで試験配信を行ったところ、30fps を出すことができなかった。フレームレートを徐々に下げ、安定して配信できた 15fps を用いることとした。

4.6.3 ビットレート

配信先の学校内ネットワークが Ethernet 10base-T であることを考慮する必要がある。転送スピード 10Mbps のネットワークだが、マシンの処理能力にも依るが、比較的良好な条件の時で転送効率は 30～50% となり、クライアント数が増えると、転送効率は急激に下がる傾向である事は明らかであり、考慮する必要がある。

また、授業を配信するので、音声の情報は時に重要であると考え、音声にはサンプリングレート 44.1KHz(Audio CD 相当)で、明瞭な音声が届くようにシステムを設計した。

以上の点を考慮し、映像ビットレート：156Kbps（圧縮率 1/100 程度）、音声：64Kbps（圧縮率 1/10 程度）を用い、トータルで 220Kbps を用いることとした。学校 1 つあたりの帯域は、3520Kbps を理論値⁵とした。また、ネットワーク負荷を低減し、映像・音声の圧縮率を高めた、映像ビットレート 118Kbps（圧縮率 1/140 程度）、音声：32Kbps（圧縮率 1/20 程度）で、トータル 150Kbps のパラメータを決め、学校 1 つあたりの帯域は、理論値として 2400Kbps とした。最後に、解像度を上げ、ネットワーク負荷、受信クライアント負荷が最大となるであろうと考える、映像ビットレート：286Kbps（QVGA サイズ 圧縮率 1/140 程度）音声：64Kbps（圧縮率 1/10 程度）の、350Kbps を使うパラメータ

⁴ frame per second

⁵ 1 台あたりのトータルビットレートと、受信マシン台数の積で算出。

を決め、学校1つあたりの帯域は、理論値として5600Kbpsとした。

以上のパラメータを用い、実証実験を行うことにした。

第5章

配信実験

高知ケーブルテレビ株式会社にて、ネチケット⁶の簡単な授業を行い、高知学校インターネットシステムのネットワーク(前述)を用いて、介良潮見台小学校に配信した(図 6.1-3)。

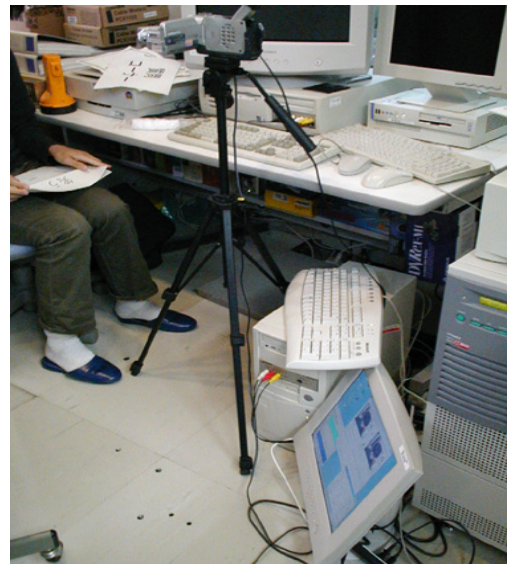


図 5.1(左上) 配信ソフトの画面例

図 5.2(右上) キャプチャ・エンコード機器

図 5.3(左下) 授業風景

⁶ ネチケットとは、ネットワーク・エチケット (Network Etiquette) を一語にまとめた造語。インターネットを利用する人が守るべき倫理的な基準。他人に迷惑をかけないことが原則である。

調査員、小学生に配信したネチケットの講義を見てもらった（図 5.4 5.5）（使用パラメータは事前実験で選定した 220Kbps を使用した）。

また配信時，データを送出すると同時に，データをファイル化し保存しておいた．後で閲覧できるようにするためである．

実験の際，小学校から高知ケーブルテレビの講義を行っている場所に向けて，意見や質問が言えるよう，簡単な CGI の掲示板を設けて，文字データを送れるように工夫した（図 5.6）．配信中に利用してもらい，LIVE 配信以外の通信が不定期に行われた場合の品質も評価することとした．

見終わった後で，児童に対してアンケートを採った．調査員はログ採取，配信時の視聴覚上の異常，画像品質の主観評価(後述)を調査した．

220Kbps 以外のパラメータについては小学生による閲覧・アンケートが無い点を除き，同様の調査方法を用いた．調査員にログ採取，配信時における視聴覚上の異常の有無，画像品質の主観評価を記入してもらった．



図 5.4 小学校の様子 1



図 5.5 小学校の様子 2

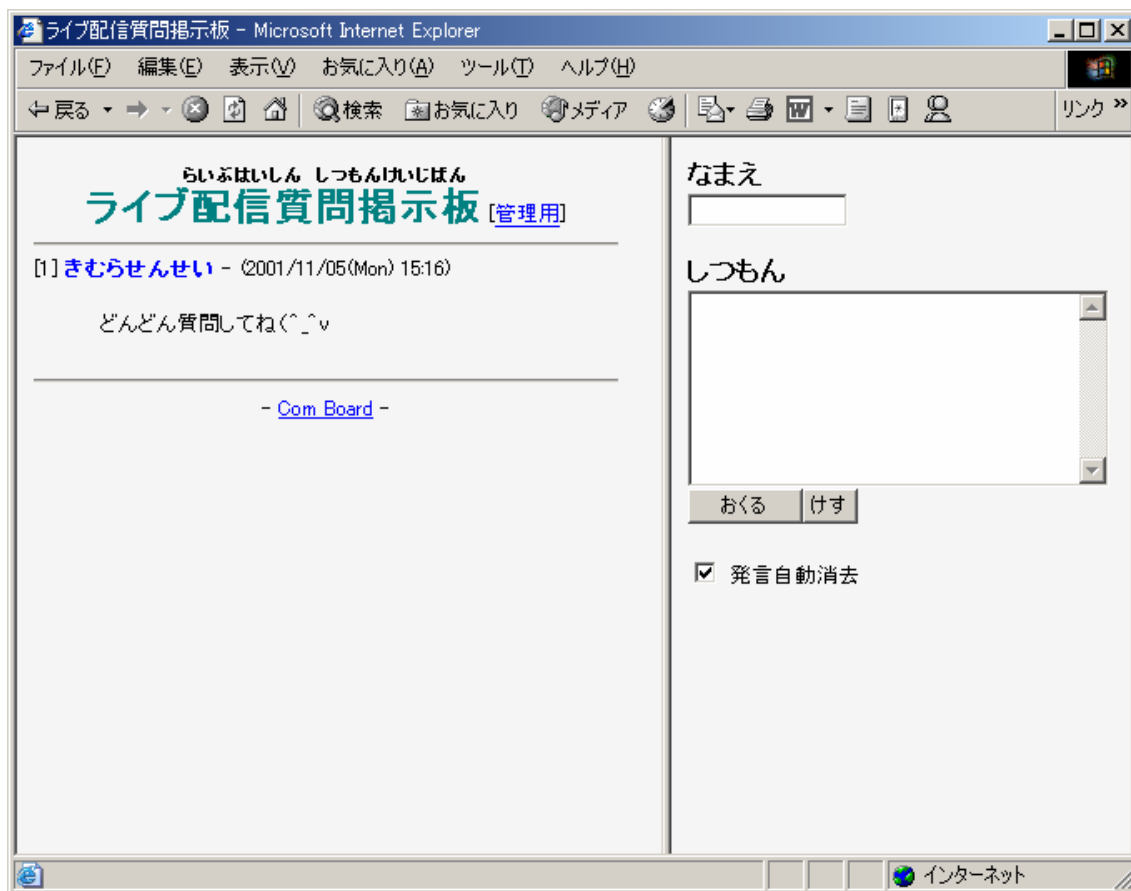


図 5.6 質問用掲示板

また、実験に用いる評価で、画像主観評価[]とは、表 5.1 画像の主観尺度表を用い、調査員の主観に基づき品質を調査することである。5 段階で評価を行う。実際に測定したログやステータス画面の数値上の値が低くても、画像主観評価が良い場合もある。

表 5.1 画像の主観評価尺度 (文献[14]より引用)

評点	品質尺度	説明
5	非常によい	劣化が全く認められない
4	よい	劣化が認められるが気にならない
3	まあよい	劣化がわずかに気になる
2	悪い	劣化が気になる
1	非常に悪い	劣化が非常に気になる

5.1 実験結果

5.1.1 送信ビットレートと、ネットワーク帯域負荷

まず、送信ビットレートと、ネットワーク帯域の関係について考察する。

表 5.2 送信ビットレートと、ネットワーク帯域の関係

送信レート	理論値	実測値	差
150Kbps	2400Kbps	2209Kbps	-191Kbps
220Kbps	3520Kbps	3389Kbps	-131Kbps
350Kbps	5600Kbps	4964Kbps	-636Kbps

表 5.2 を見ると、150Kbps, 220Kbps は、理論値と実測値の誤差も少なく、うまく配信できている事がわかる。しかし送信レートが 350Kbps の時、理論値と実測値で、大きな誤差が発生している。また、帯域不足のため、受信できなかったクライアントが 1 台あった。今回は、16 台が一斉に学校から高知ケーブルテレビ内サーバに接続し、配信を行うこ

とから Ethernet の仕様上, あまり条件の良い状態では無い. 特に 10base の小学校内 LAN (前述) では, 実効速度を超えたデータが送られたことが原因だと考えられる.

5.1.2 表示されたフレームの割合

クライアントの性能別で, 表示されたフレームの割合を見ていくことにする. 今回実験で協力いただいた小学校には, 比較的高性能なマシンと, 低性能のマシンがある.

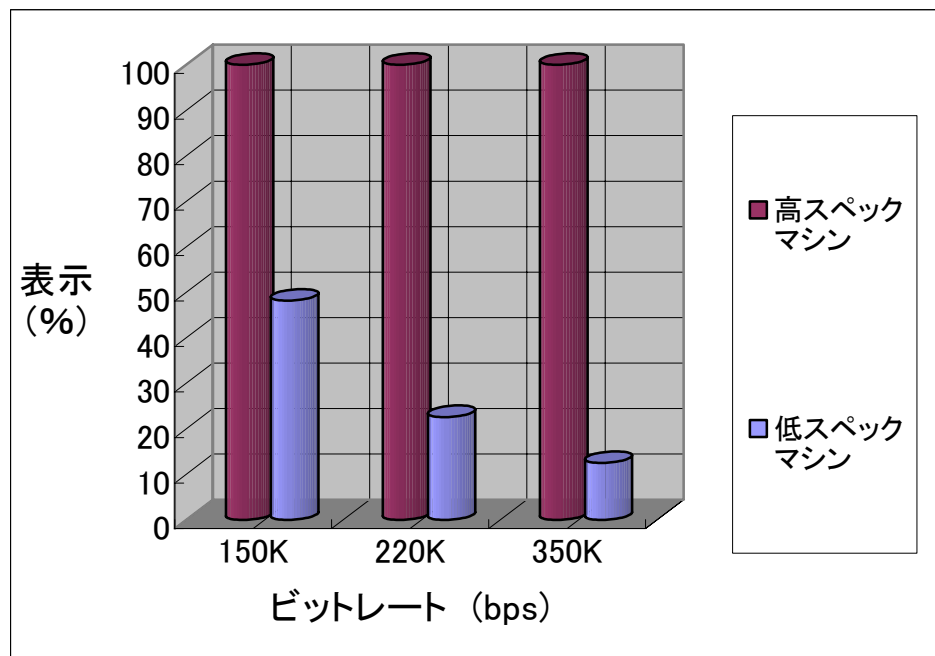


図 5.7 クライアントの性能別表示されたフレームの割合

図 5.7 は, クライアントの性能別で, 表示されたフレームの割合を比較している. 高スペックマシンでは, どのパラメータを用いても, すべてのフレームを再生することができた. しかし, 低スペックのマシンでは, 配信レートが 150Kbps 時で約 50%, レートが上がるに従い, 表示率は下がっている. 実験後, 同様のスペックを有するマシンを用い, そのマシンのハードディスクにコピーした, Real System の動画ファイルを再生したところ, 150Kbps の場合, ほぼ 100%表示された. ネットワークでデータを受信する処理が,

画像品質に大きな影響を与えていることがわかった。

5.1.3 各パラメータにおける配信状態

各パラメータにおける配信の状態を説明する。

150Kbps のビットレートを用いた場合、16 台すべてのクライアントで正常に受信することができた。画質としては若干ぼやけた感じになるが、状態としては良好である。低スペックマシンにおいては、前述したが、元データの 50%程度フレームレートで再現されているが、ノイズや、リップシンク（映像と音声の同期のことで、人物を撮影し再生した場合、口の動きと出力される声がずれていると、不自然な状態となる。）のトラブルなど発生しなかった。調査員が判断した主観評価も 4 ないし 5 であり、フレームは送信時の半分程度になってはいるものの、画像劣化については気にならない程度の水準である。授業風景のような、高いフレームレートを要求しない映像を送信する際には、フレームレートが半分程度になっていても、十分使用することができる。また、配信側の機器も、サーバの CPU 使用率は 3%程度と、余裕で処理をしている。キャプチャ・エンコード用マシンの CPU 使用率は、60～80%と、まだ余裕がある。

220Kbps のパラメータを用いた場合、16 台すべての端末で受信は、行えた。画質としては 150Kbps 時より良く、150Kbps と比較して、全体的にシャープな画像となった。しかし、低スペックマシンにおいては、150Kbps の時より、表示されなかったフレームが多く、動きが滑らかではない。また、掲示板でのデータのやりとり（前述）を行った際、16 台中 5 台に画像に大きなノイズが入り（図 5.8）、16 台中 9 台にリップシンクのトラブルが発生した。主観品質としても、図 5.8 のようなノイズが入った場合やリップシンクトラブルが起こった場合は 1～2 である。配信側の機器としては、サーバの CPU 使用率は 5%程度と、余裕で処理をしている。キャプチャ・エンコード用マシンの CPU 使用率は、60～80%と、まだ余裕がある。



図 5.8 映像トラブル例

最後に 350Kbps の場合を見ることにする。5.1.1 の考察でも述べたが、16 台中 1 台が帯域不足で受信できなかった。220Kbps と同様、LIVE 配信以外の通信により、品質低下が発生した。16 台中 6 台に画像にノイズが入り（図 5.8）、16 台中 8 台にリップシンクのトラブルが発生した。主観品質としても、220Kbps 時と同様のトラブルがあったため、1～2 となる。配信側の機器としては、サーバの CPU 使用率は 10%程度と、まだ余裕であるが、キャプチャ、エンコード用マシンの CPU 使用率は、90～100%と、かなりの高負荷である。

以上より、LIVE 配信を行いながら教材用ホームページを見るというような教育現場での使用を考えると、150Kbps のパラメータを用いるのが、配信品質の面で優れていると思われる。

5.2 児童へのアンケート結果

児童に対して採ったアンケート結果をグラフ化し、示す。

(アンケート調査 小学生4～6年生18人 回答18人 回答率100%)

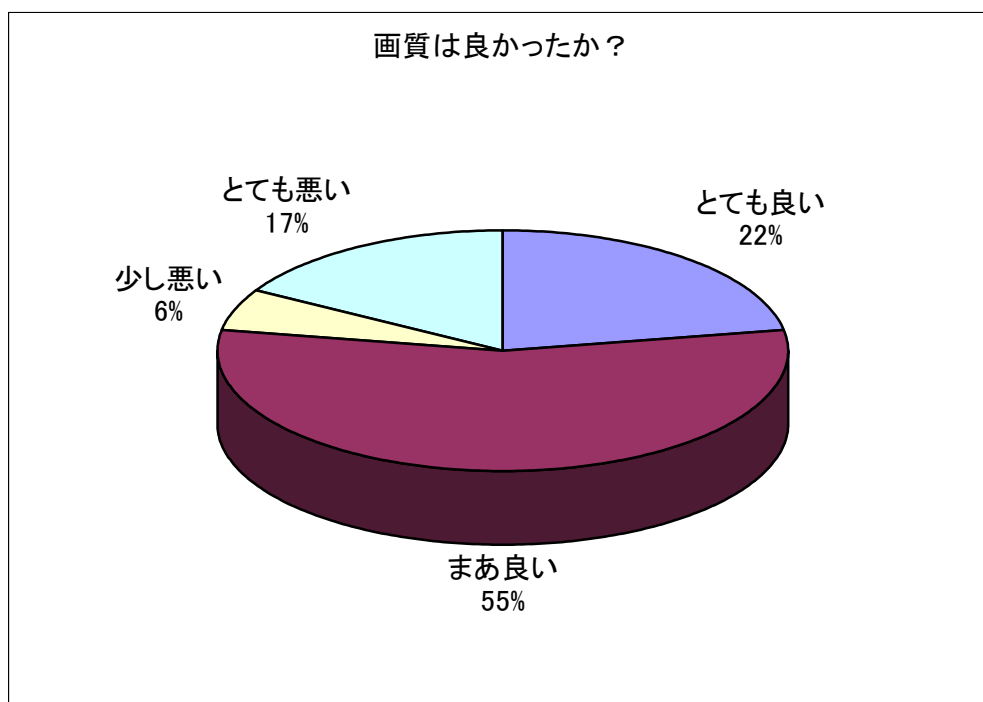


図 5.9 アンケート結果「画質は良かったか」

事前実験（研究室内、配信実験前の実地配信調査）で、220Kbps のパラメータが良好だったため、児童にはそのパラメータを用いた画像を見てもらった。見ているだけであれば、トラブルも発生しなかったが、掲示板などの使用で画像が乱れる（前述）場面があり、その部分を反映した結果となっている(図 5.9)。

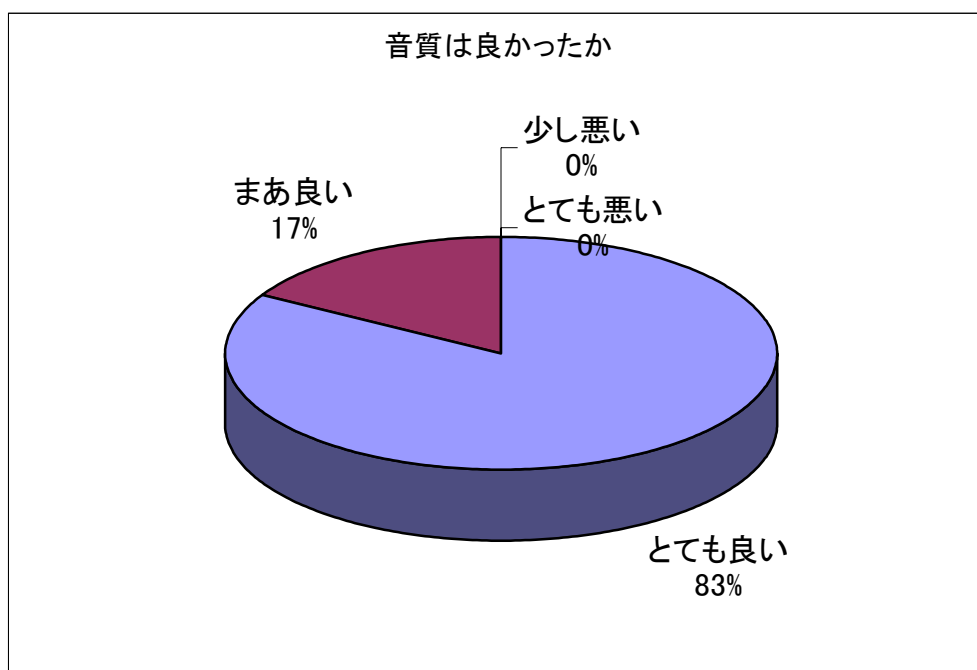


図 5.10 アンケート結果「音質は良かったか」

音質に関して(図 5.10)は、サンプリング周波数 44.1KHz の、Audio CD 相当の品質を出す計画でパラメータを考慮し、配信したため、アンケートも良い結果となっている。

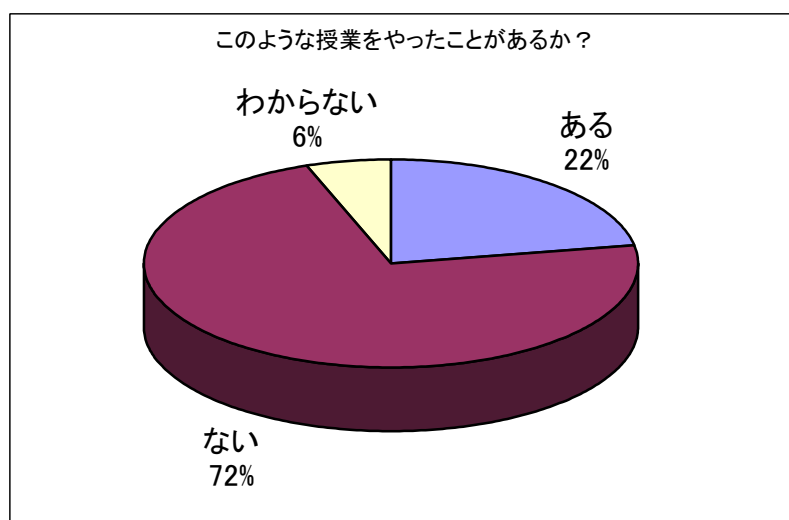


図 6.11 アンケート結果「このような授業をやったことがあるか」

今回調査を行った学校は、以前にテレビ会議システムを用い、他校と映像のやりとりを

行ったことがあるという。今回の実験で行った LIVE 配信の「1 対多」と、テレビ会議の「1 対 1」の区別があまりついていないと思われる。

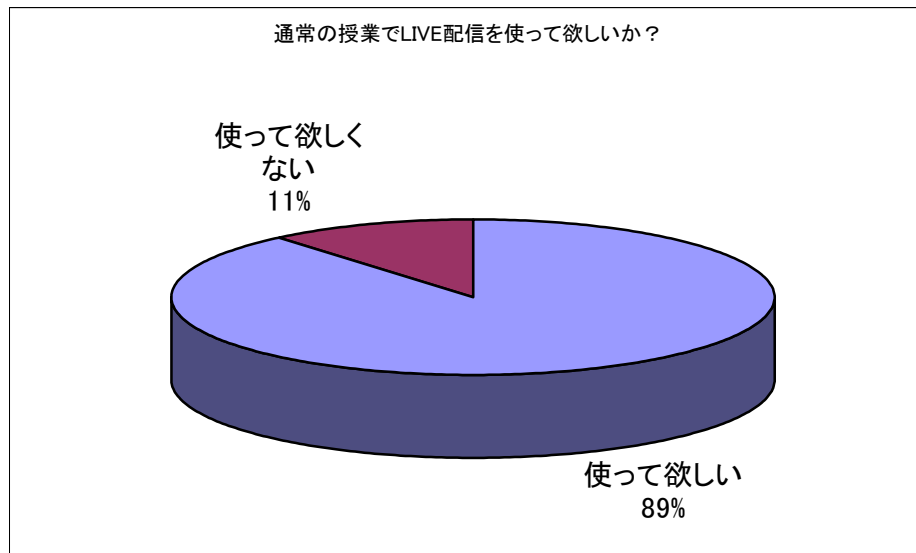


図 6.12 アンケート結果「通常の授業で、LIVE 配信を使って欲しいか？」

通常の授業と、形態も雰囲気も違う LIVE 配信であるが、児童の 90% 近くが、この LIVE 配信を用いた授業に興味を示していることがわかる。

第 6 章

おわりに

本論文では LIVE 配信の配信実験を通じ、以下のような事項が明らかになった。

1. 240*180pixel (15fps) 程度の映像パラメータであれば、配信機器の負荷も比較的少ない。
2. 一端末あたり 150Kbps 程度のビットレートであれば、フレームレートの現在導入されている低性能の機器でも再生可能。
3. LIVE 配信の帯域が 送信レート*マシン台数 $\leq$ 2000~2400Kbps であれば、他の通信が混ざっても使えた。

まず、一番の事項より、ノートパソコンのような性能の低いマシンでも、配信用機器として使えるであろうと考える。ノートパソコンであれば、システムもコンパクトにまとめることができ可搬性がある。各学校に一台、配信用ノートパソコンを所有しておき、配信を行いたい教室へ機材を運び、LIVE 配信を行うといった使い方も提案できる。

二番目の事項であるが、現在導入されている機器を交換することなく、LIVE 配信が行えるメリットは大きい。

三番目の事項については、小学校内のネットワークの帯域不足が考えられる。小学校内 LAN の性能向上で送信レートを上げることができると思われる。

以上、教育現場における LIVE 配信の有効性を示す事ができ、パラメータ、問題点、を提示することができた。今後、学校対学校の配信、Unicast 以外の通信方式を用い配信を行うことが、今後の課題である。

謝辞

高知工科大学情報システム工学科清水明宏教授には，研究室配属以来，論文はじめ，公私ともに懇切丁寧なる御指導，御鞭撻を賜りました．ここに謹んで深謝いたします．

また，本研究室院生，田鍋潤一郎氏，岡田実氏，辻貴介氏ならびに本研究室学部生，伊藤哲氏，植田洋加氏，越智裕架子氏，上岡隆氏，河村智氏，木村大樹氏，窪内美紀氏，福留一夫氏には，実験や研究途上において有益な御議論，支援，協力を頂き，心より感謝いたします．また，三菱電機株式会社の横里純一氏には，実験の際，小学校との調整等お世話になり，心より感謝いたします．実験の際お世話になった，高知ケーブルテレビ株式会社の安岡隆司氏，並びに高知ケーブルテレビ株式会社の皆様，そして，実験を行った介良潮見台小学校の先生方，児童のみなさんに，感謝いたします．

さらに，在学中，親切なる御指導を頂いた諸先生方に心より感謝いたします．

参考文献

- [1] 文部科学省 学校における情報教育の実態などに関する調査結果（平成 12 年度）
http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/13/09/010911.htm
- [2] 高知工科大学 学生ボランティアサークル CAST
<http://www.ugs.kochi-tech.ac.jp/cast/>
- [3] 特定非営利活動法人 LIT 文部省『学校における情報教育の実態等に関する調査結果』 推移表
<http://www.npo-lit.or.jp/shiryou/gakkou-tyosa1999-PDF.htm>
- [4] 社団法人 日本教育工学会 情報教育実態調査結果
<http://www.japet.or.jp/jnews/sikkaia.htm>
- [5] 文部科学省（旧文部省） 学校における情報教育の実態等に関する調査結果（平成 10 年度） <http://www.monbu.go.jp/special/media/00000019/>
- [6] 文部科学省 学校における情報教育の実態などに関する調査結果（平成 11 年度）
http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/12/08/000804.htm
- [7] Windows Media Technology System
<http://www.microsoft.com/japan/windows/windowsmedia/>
- [8] QuickTime Streaming System
<http://www.apple.co.jp/quicktime/products/qtss/index.html>
- [9] World Wide Web Consortium
<http://www.w3.org/>
- [10] Real Networks 社 ホームページ
<http://www.real.com/>
<http://www.realnetworks.com/>

- [11] 高知学校インターネット I を用いた研究例
<http://www.net-kochi.gr.jp/2001/bukai/05gakko.htm>
- [12] 日経 BP 社出版局編：デジタル用語辞典 2000-2001 年版，日経 BP 社， p265
- [13] 稲積泰宏他
低ビットレート動画像通信における最適フレームレートの導出
電子情報通信学会 信学技報 TECHNICAL REPORT OF IEICE CQ2000-80,
MVE2000-98(2001-02), pp1-8
- [14] 都丸敬介，ネットワーク・ポリシー設計 都丸敬介の情報通信講座，
ソフト・リサーチ・センター， p57