

## 第四章

# 自然体験学習システムの 実証実験

## 1 MPEG-2 ストリーミングコンテンツの帯域の違いによる学習効果への影響

### 1.1 実験要求事項

天体画像データや教育関連コンテンツを、動画像蓄積(配信)装置から MPEG-2 ストリーミング配信する。モニター小中学校では、配信される MPEG-2 ストリーミング画像を、3次元バーチャルリアリティシステムの映像表示装置に表示させ、MPEG-2 ストリーミング画像による学習効果への影響を主観評価にて検証する。

### 1.2 実験仕様、手順

#### 【実験仕様概要】

山梨県立科学館に設置の動画像蓄積装置、又は山梨県開放型研究開発センターに設置してある動画像を配信する機能を持ったストレージ装置により、リアルタイムで MPEG-2 ストリーミングコンテンツをモニター小中学校(山梨大学附属小学校、白根巨摩中学校、大垣市立北小学校、大垣市立北中学校)に配信し、平成 14 年度にモニター小中学校に設置した既設の 3次元バーチャルリアリティシステムの表示装置にて表示させ、コンテンツ学習による有効性についてアンケートを実施し検証する。

【実証実験実施環境】

実証実験実施場所

実験事前準備場所

- 山梨県立科学館
- 山梨県開放型研究開発センター

実施場所

- 山梨県各モニター小中学校
- 岐阜県各モニター校小中学校

実証実験ネットワーク構成

実証実験に使用したネットワーク構成のブロック図を図 4-1-1に示す。

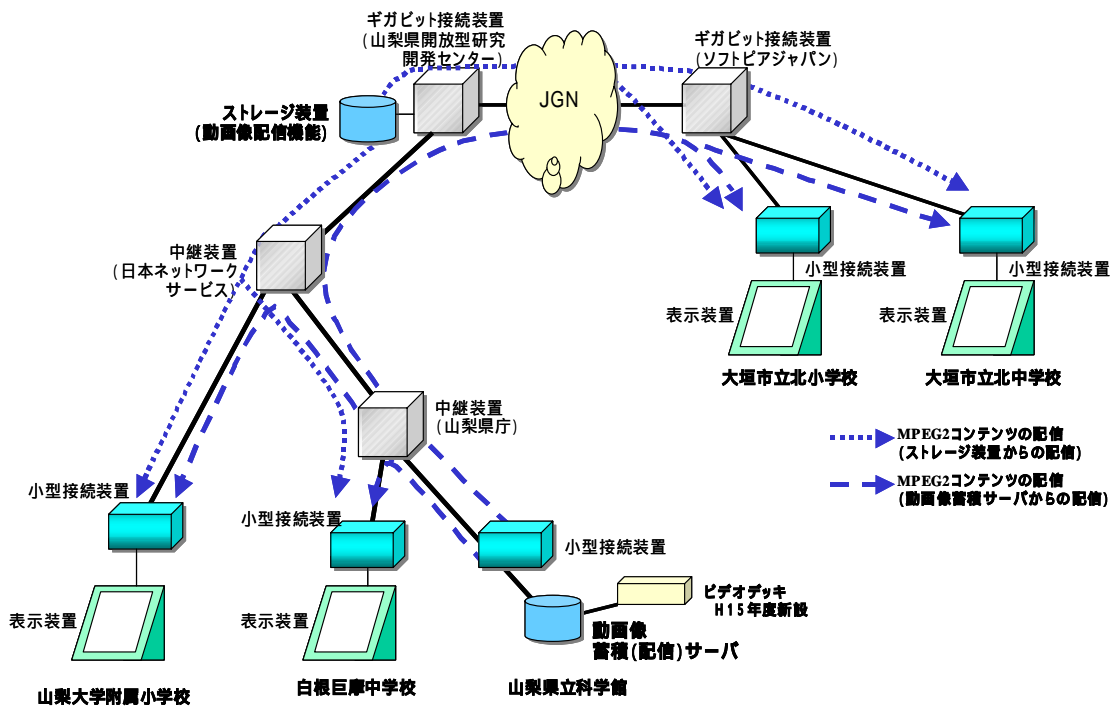


図 4-1-1 MPEG-2 ストリーミング配信におけるデータの流れ

【実験手順】

実証実験手順について、図 4-1-2に示すシステム構成図に基づいて、実施手順を記述する。

山梨県立科学館に設置のエンコーダ装置を用いて、予め用意した VTR 等の以下のビデオコンテンツを MPEG-2 画像に変換し、動画像蓄積(配信)装置、及び山梨県開放型研究開発センターに設置したストレージ装置に、ビデオコンテンツ(MPEG-2 画像)を蓄積しておく。

- ・ 天体観測システムによって、リアルタイムに天体望遠鏡から撮像された蓄積動画像コンテンツ。
- ・ 予めモニター小中学校等で録画したビデオコンテンツ。

各モニター小中学校では、動画像蓄積(配信)装置、或いはストレージ装置に蓄積してあるコンテンツを、3次元バーチャルリアリティシステムの画像生成装置(左目用)の Web ブラウザから選択する。

動画像蓄積(配信)装置、或いはストレージ装置から、VOD によって配信される動画像(MPEG-2)を、画像生成装置(左目用)のビューアソフトウェアにて受信し、3次元バーチャルシステムの表示装置に表示させる。

それぞれのビデオコンテンツ毎に5分程度視聴し、視聴後にアンケート(表 4-1-1)を実施する。

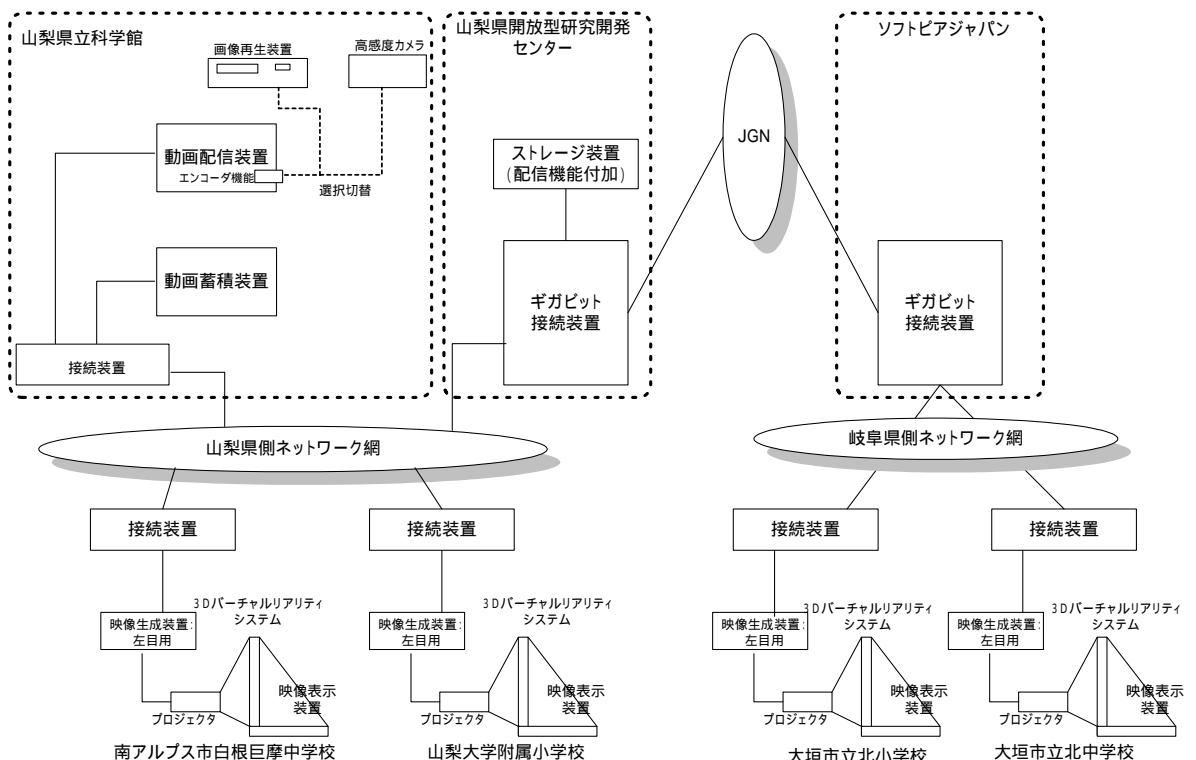


図 4-1-2 実証実験システム構成図

図中の番号は手順の番号と同一。

表 4-1-1 MPEG-2 アンケート

		質問	解答欄
1		土星食の映像を理解できましたか	よく理解できた 理解できた 普通 あまり理解できなかった 理解できなかった
2		火星の映像を理解できましたか	よく理解できた 理解できた 普通 あまり理解できなかった 理解できなかった
3		関が原の映像は理解できましたか？	よく理解できた 理解できた 普通 あまり理解できなかった 理解できなかった
4		どの映像がきれいでしたか (最も見やすかったですか)	土星食 火星 関が原
5		映像はきれいでしたか？	きれいだった 普通 たまたに乱れた みにくかった
6		音声はよく聞こえましたか	よく聞こえた 普通 たまたに途切れた ほとんど聞こえなかった
7		自分が見たい(知りたい)ビデオライブラリが 学校にあれば良いと思いますか？	良いと思う どちらでもない 無くても良い
8		どんなことについて、知りたいですか？	歴史(人物、他) 日本の有名なところ 科学(天体、他)
9		ほかにどんな映像をPCで見たいですか？	

図 4-1-3は山梨県立科学館に設置した画像再生装置と動画像配信装置(既設)一式、図 4-1-4は山梨県開放型研究開発センターに設置のストレージ装置、図 4-1-5はモニター校の一つである南アルプス市立白根巨摩中学校に設置の3次元バーチャルリアリティシステム(既設)の画像生成装置(左目用)を示す。

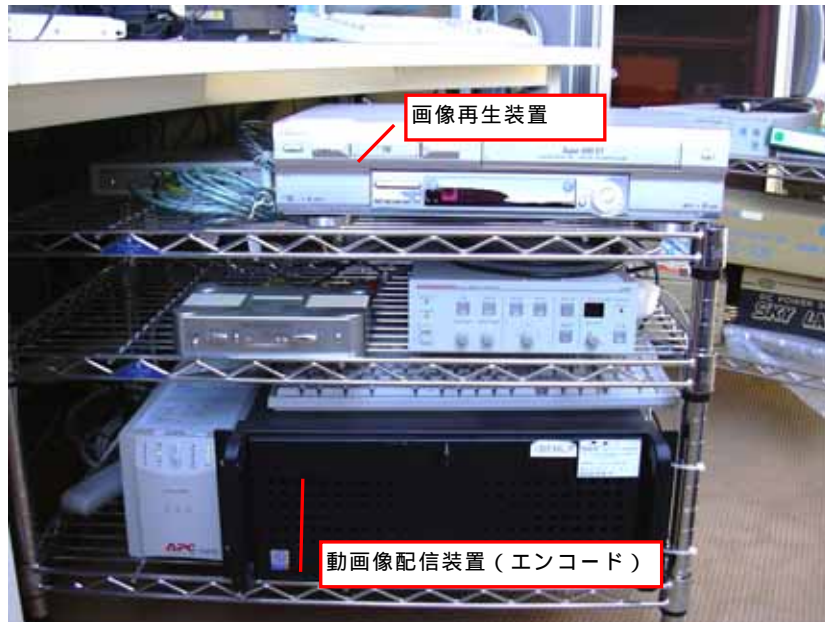


図 4-1-3 画像再生装置と動画像配信装置（山梨県立科学館）



図 4-1-4 ストレージ装置（山梨県開放型研究開発センター）



図 4-1-5 3次元バーチャルリアリティシステム（既設）  
（南アルプス市立白根巨摩中学校）

以下に、MPEG-2 ストリーミング画像を呼び出す際の Web ブラウザでの選択画面を図 4-1-1に、Web ブラウザから選択されビューワプログラムによって映像表示装置に投影した画像を図 4-1-7に、また液晶ディスプレイに表示させた際の画像を図 4-1-8に示す。



図 4-1-6 Web ブラウザでの選択画面

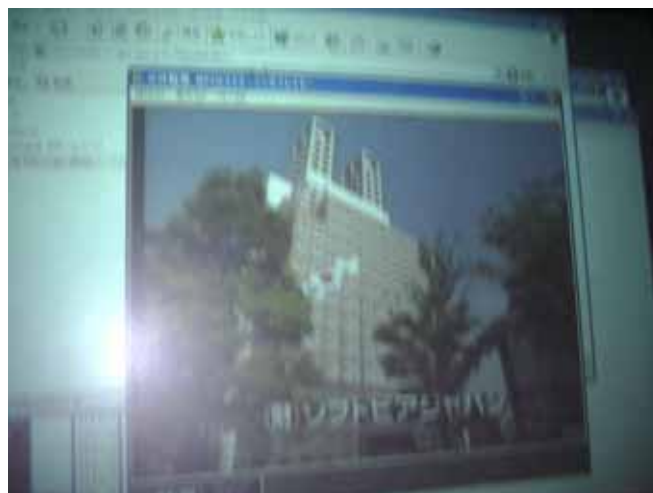


図 4-1-7 MPEG-2 ストリーミング画像（映像表示装置）



図 4-1-8 MPEG-2 ストリーミング画像（液晶ディスプレイ）



### 1.3 実証実験結果

#### (1). モニター小中学校間での実施結果

MPEG-2 ストリーミング画像をモニター小中学校にて視聴した際のアンケート結果を以下に示す。

なお、小中学校におけるアンケート母数は、11人である。

#### 設問 1 :

土星食の映像を理解できたか？

##### 【回答】

よく理解できた	6人
理解できた	2人
普通	0人
あまり理解できなかった	3人
理解できなかった	0人

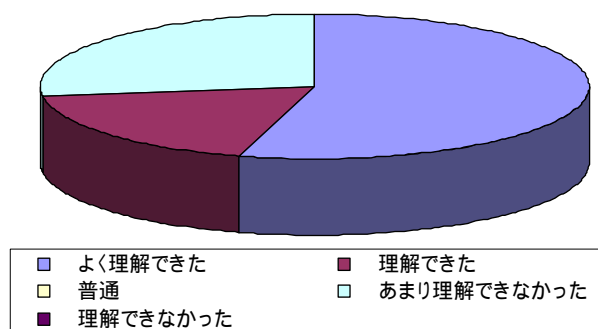


図 4-1-9 土星食ストリーミング映像

#### 設問 2 :

火星の映像を理解できたか

##### 【回答】

よく理解できた	0人
理解できた	3人
普通	3人
あまり理解できなかった	4人
理解できなかった	1人

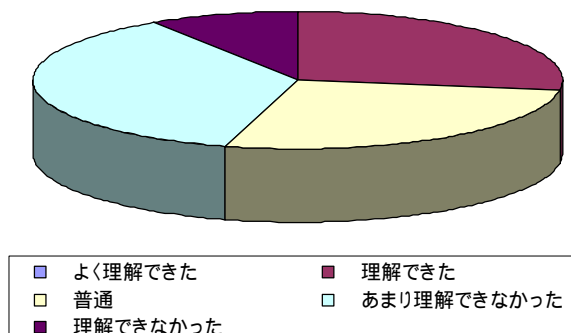


図 4-1-10 火星ストリーミング映像

設問 3 :

関が原の映像は理解できたか？

【回答】

よく理解できた	8人
理解できた	2人
普通	1人
あまり理解できなかった	0人
理解できなかった	0人

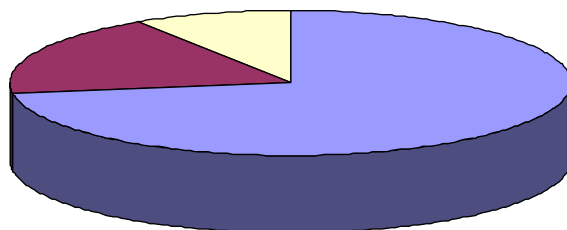


図 4-1-11 関が原ストリーミング映像

設問 4 :

3つの映像のうち、どの映像がきれいに表示したか？

【回答】

土星食	1人
火星	0人
関が原	10人

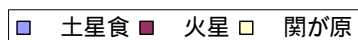
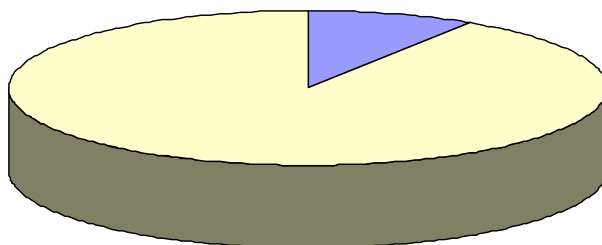


図 4-1-12 ストリーミング映像の評価 1 (見易さ)

設問 5 :

映像はきれいに表示したか？

【回答】

きれいだった	3人
普通	3人
たまに乱れた	4人
みにくかった	0人

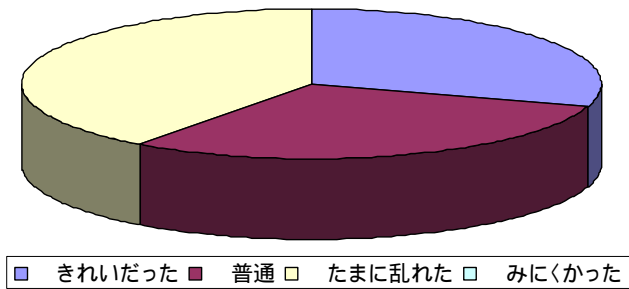


図 4-1-13 ストリーミング映像の評価 2 (画質)

設問 6 :

音声はよく聞こえたか？

【回答】

よく聞こえた	2 人
普通	7 人
たまに途切れた	2 人
ほとんど聞こえなかった	0 人

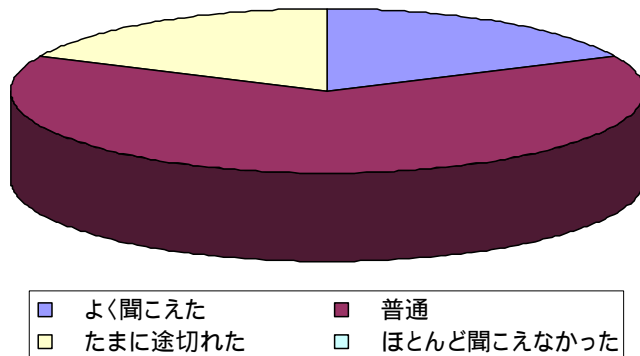


図 4-1-14 ストリーミング映像の評価 3 (音質)

設問 7 :

自分が見たい(知りたい)ビデオライブラリが、学校にあれば良いと思うか？

【回答】

良いと思う	10 人
どちらでもない	1 人
無くても良い	0 人

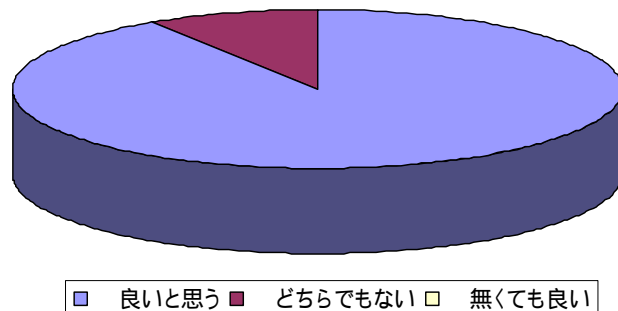


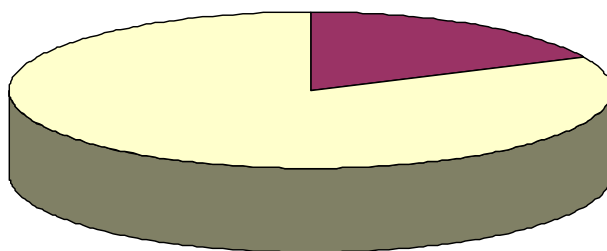
図 4-1-15 ビデオライブラリについての設問 1

設問 8 :

どんなことについて、知りたいか？

【回答】

歴史(人物、他)	0人
日本の有名なところ	2人
科学(天体、他)	9人



■ 歴史(人物、他) ■ 日本の有名なところ □ 科学(天体、他)

図 4-1-16 ビデオライブラリについての設問 2(内容)

設問 9 :

ほかにどんな映像を PC で見てみたいか？

【回答】

- 世界、外国の映像
- 環境問題
- 太陽、地球、銀河系(宇宙全般)
- イベントの中継
- 天体、地層、火山(普段見られないような科学的な映像)
- NASA の衛星
- 火星探査機からの映像

#### 1.4 考察

本項では実証実験から得られたアンケート結果に基づいて考察を行う。

##### (1). 映像品質について

実証実験では、山梨県側と岐阜県側とで同一の映像を視聴したところ、岐阜県側で映像および音声の乱れあったとの回答が、山梨県側よりも多少多かった。これは、MPEG-2 ストリーミング配信サーバである動画像蓄積装置、およびストレージサーバが山梨側にあり、ネットワーク上のルータホップ数や MPEG-2 ストリーミング映像に使用されるパケットが UDP であるところによる影響が大きいと推測している。

##### (2). MPEG-2 ストリーミング映像について

実証実験について用意したコンテンツは 3 種類のものを用意したが、ビデオ形式にて編集されたコンテンツもあり、それらのコンテンツを山梨県立科学館の動画像配信装置（エンコーダー）を用いて MPEG-2 形式に変換する作業が発生し、コンテンツの長さによっては、MPEG-2 形式にデジタル化するのに長時間の作業時間を必要とする。

一般市場においては映像品質の劣化等が少ないデジタル形式による製品、特にミニ DVD を使用した製品も多数出てきており、本実験装置で使用した装置への適用も今後の課題の一つと考えている。

##### (3). 映像コンテンツについて

今後視聴してみたい映像コンテンツとしては、アンケート結果に示すとおり、普段見られないような科学系の映像（太陽、地球、銀河系（宇宙全般）、地層、火山）が最も多かった。これは、上述の科学系の映像は、一般的には写真でしか見たことないのであるところが大きいと考える。これら科学系の映像を映像コンテンツとして整備した場合には、飛躍的に学習効果も増すものとする。

しかしながら、学習効果により良い影響をもたらすコンテンツをどのようにそろえるかも、運用を考慮した場合の課題の一つである。

##### (4). 表示装置について

実証実験では、3 次元バーチャルシステムの映像表示装置に表示させただけでなく、映像表示装置に表示させるための映像生成装置（左目用）の液晶モニタも使用し実験を行った。これは、コンピュータ室等の PC 端末を用いて、MPEG-2 ストリーミング映像を視聴した場合の効果についても検証を行った。その結果、少人数で視聴する場合には、映像表示装置等のスクリーンで視聴するより、自由に映像を選択できる等良い結果が得られている。

以上、MPEG-2 ストリーミング画像配信システムの導入が、学習効果へのよい影響をもたらすかは、MPEG-2 ストリーミングコンテンツの整備が、重要事項の一つになると考え、下記項目もその一つの解決策であるとする。

- ・ 都道府県毎の MPEG-2 ライブラリのデータセンターを構築。
- ・ 各都道府県を接続する教育用高速ネットワーク網の整備。
- ・ MPEG-2 ライブラリのデータセンターを統合する中央のデータセンターシステムを構築および整備。

## 2 3次元撮像装置により作成された3Dコンテンツの有効性

### 2.1 実験要求事項

各モニター小中学校にて可般型の3次元撮像装置により撮影した独自の3Dコンテンツを既存の3次元バーチャルリアリティシステムの映像表示装置に表示させ、そのコンテンツによる学習効果を、また相互コミュニケーション性能について主観評価にて検証する。

### 2.2 実験仕様、手順

#### 【実験仕様概要】

新規導入した可般型3次元撮像装置を使用して、各モニター校が作成（撮影）した3Dコンテンツを、既設の3次元バーチャルリアリティシステムで相互に表示させ、学習効果、相互コミュニケーション性能について、アンケートを実施し検証する。

【実証実験実施環境】

実証実験実施場所

2004年2月9日 実施

- ・ 山梨県白根巨摩中学校 美術室
- ・ 岐阜県大垣市立北中学校 LL 教室

2004年2月10日 実施

- ・ 山梨大学附属小学校 プレイルーム
- ・ 岐阜県大垣市立北小学校 コンピュータルーム

実証実験ネットワーク構成

実証実験に使用したネットワーク構成のブロック図を図4-2-1に示す。

なお、可般型の3次元撮像装置は、山梨県側1Set、岐阜県側1Setで設置し、共に小中学校間で使用時に日程を調整し、撮影および映写の運用を行った。

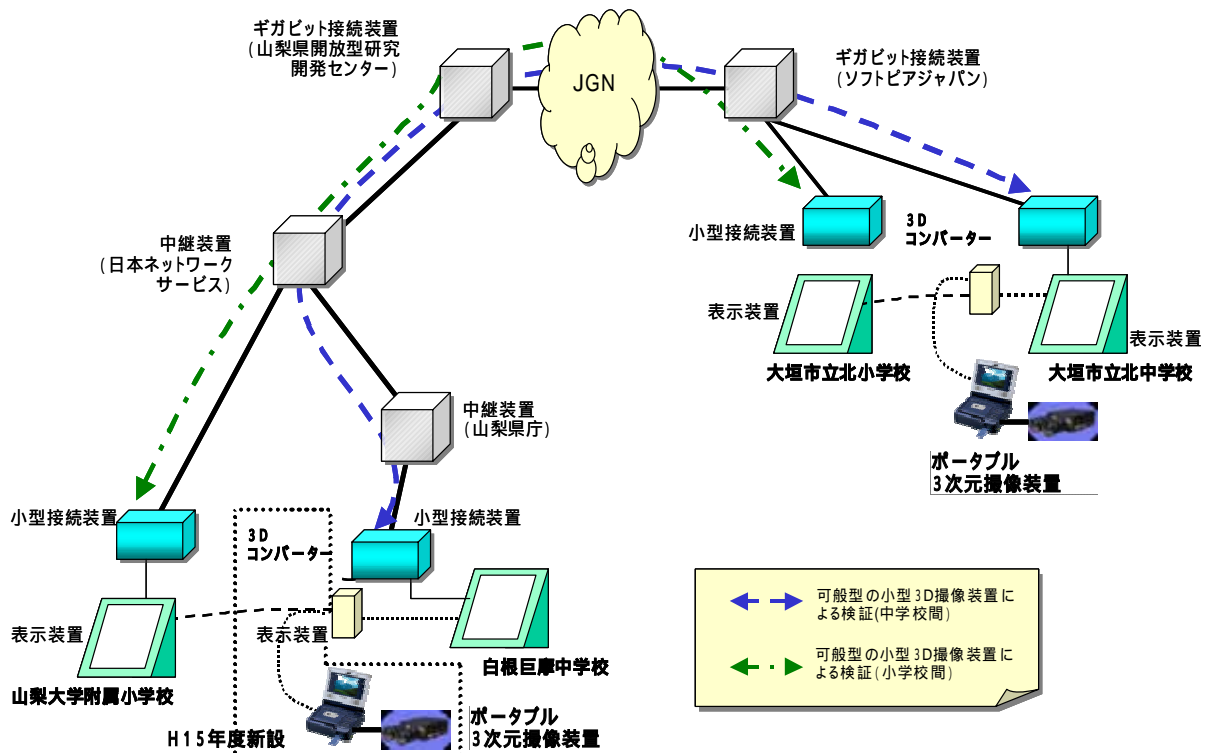


図 4-2-1 可般型の3次元撮像装置による共同授業時のデータの流れ(概要図)

### 3次元バーチャルリアリティシステム構成

各モニター校に設置してある3次元バーチャルリアリティシステムのシステムブロック図を図4-2-2に示す。

なお、可般型の3次元撮像装置は、山梨県側1Set、岐阜県側1Setで設置し、共に小中学校間で使用時に日程を調整し、撮影および映写の運用を行った。

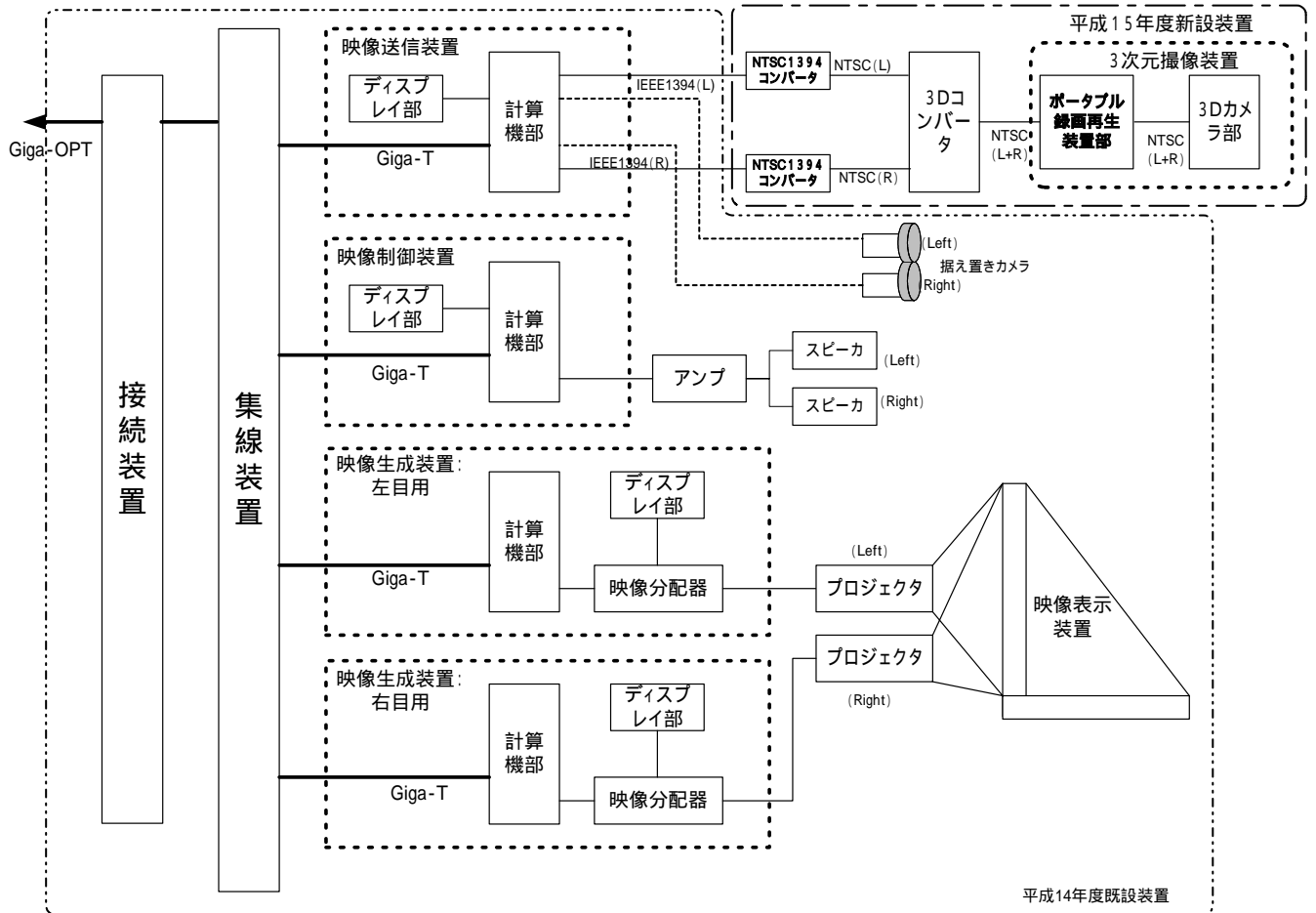


図 4-2-2 3次元撮像装置と既存3次元バーチャルリアリティシステムの接続図



【実験手順】

モニター小中学校において、3次元撮像装置を用いて、各学校独自の3次元のコンテンツを予め作成し、用意しておく。

予め作成した3Dコンテンツを、3次元バーチャルリアリティシステムの映像表示装置に表示させ、中学校間、または小学校間で共同授業を行う。

相互コミュニケーション性能、及び運用性能等の装置としての実用性について主観評価によるアンケート（表4-2-1）を実施する。

表 4-2-1 アンケート（3次元撮像装置）

質問		質問
1	相手の学校が作成した3次元のビデオコンテンツを見て内容を理解できましたか？ 右の回答例の中から最も適していると思うものを選択して回答欄に記入してください。	よく理解できた 理解できた 普通 あまり理解できなかった 理解できなかった
2	1でよく理解できた・理解できたと答えた方、右の回答例の中から、最も適していると思われる項目を選択して回答欄に記入してください。	内容が理解しやすい内容になっていたから。 3次元画像に臨場感があったから。 その他
3	1であまり理解できなかった・理解できなかったと答えた方は、右の回答例の中から、最も適していると思われる項目を選択して回答欄に記入してください。	内容が理解しやすい内容になっていたから。 3次元画像に臨場感があったから。 その他
4	相手の学校の3次元のビデオコンテンツはどのような内容でしたか？	
5	3次元のビデオコンテンツは見ての感想を簡単にいいので書いてください。	
6	もし、3次元のビデオコンテンツ(VTR)を撮るとしたら、あなたならどんなものを撮ってみたいと思いますか？	

図4-2-3に山梨県、岐阜県に各一式設置した3次元撮像装置一式と、図4-2-4にはモニター校の一つである山梨大学附属小学校に設置（既設）の3次元バーチャルリアリティシステムを示す。



図 4-2-3 3次元撮像装置 一式



図 4-2-4 3次元バーチャルリアリティシステム（山梨大附属小学校）

## 2.3 実証実験結果

### (1). モニター中学校間での実施結果

モニター中学校間で実施した際のアンケート結果を以下に示す。

なお、中学校におけるアンケート母数は、11人である。

実証実験風景を、図 4-2-9 に示す。

設問 1：

相手校が作成した 3次元ビデオコンテンツを視聴した際、内容を理解できたか？

【回答】

よく理解できた	0人
理解できた	10人
普通	1人
あまり理解できなかった	0人
理解できなかった	0人

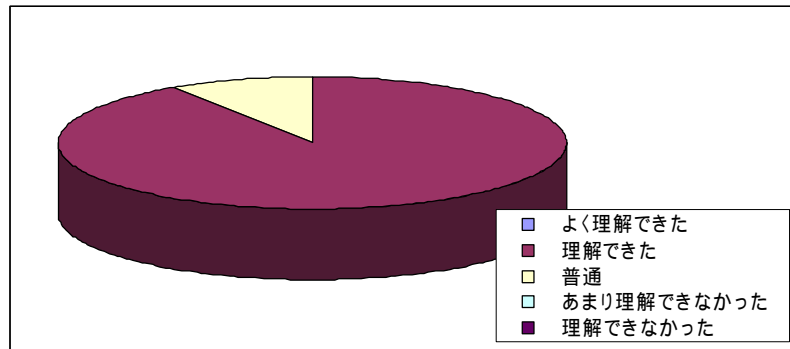


図 4-2-5 設問 1 (中学校間)

設問 2：

設問 1 で『よく理解できた』・『理解できた』と答えたグループに対して、選択による設問。

【回答】

内容が理解しやすい内容になっていたから。	8人
3次元画像に臨場感があったから。	1人
その他	2人

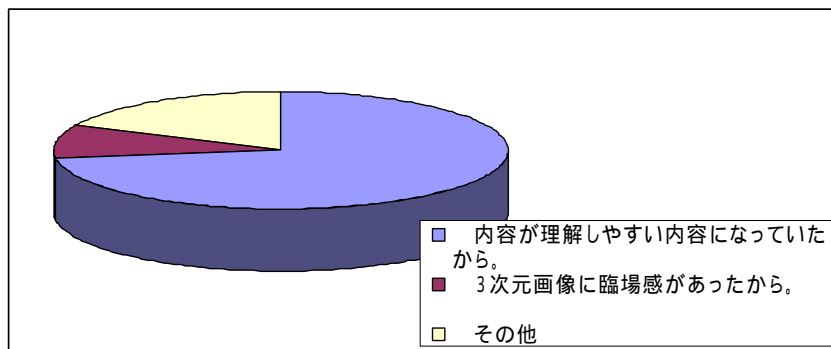


図 4-2-6 設問 2 (中学校間)

設問 3 :

設問 1 で『あまり理解できなかった』・『理解できなかった』と答えたグループに対して、選択による設問。

【回答】

内容が理解しやすい内容になっていたから。	0 人
3次元画像に臨場感があったから。	0 人
その他	0 人

設問 1 で全員、『普通』以上であったため、本設問における回答者は 0 人であった。

設問 4 :

相手校の 3 次元ビデオコンテンツの内容についての設問。

【回答】

地域紹介  
学校紹介  
学校の部活  
街で有名な箇所

設問 5 :

3 次元ビデオコンテンツを視聴しての感想についての設問。(ランダム)

【回答】

迫力があってよかったし、その場にいるようでよかった  
目が疲れた  
3次元で面白かったけれど、少し目が疲れた。  
立体感があった  
見難い部分もあったが立体感があってよかった  
家などがこっちより密集していた  
目が疲れるのもっと見やすくなればいい  
止まっている画像 3Dとしてよく見えた  
音声が入っていないとわかりにくい  
迫力があった

設問 6 :

3 次元ビデオコンテンツを自ら撮る場合のコンテンツの内容についての設問。

【回答】

理科実験 天文 人体  
日常生活  
海の中、富士山をもっと近場で  
県内の自然  
自分の生活  
街で立体でみても面白いもの  
有名なもの  
学園祭などの行事  
美術の作品

(2). モニター小学校間での実施結果

モニター小学校間で実施した際のアンケート結果を以下に示す。

なお、中学校におけるアンケート母数は、12人である。

実証実験風景を、図 4-2-10 に示す。

設問 1 :

相手校が作成した 3D コンテンツを視聴した際、内容を理解できたか？

【回答】

よく理解できた	0人
理解できた	10人
普通	1人
あまり理解できなかった	0人
理解できなかった	0人

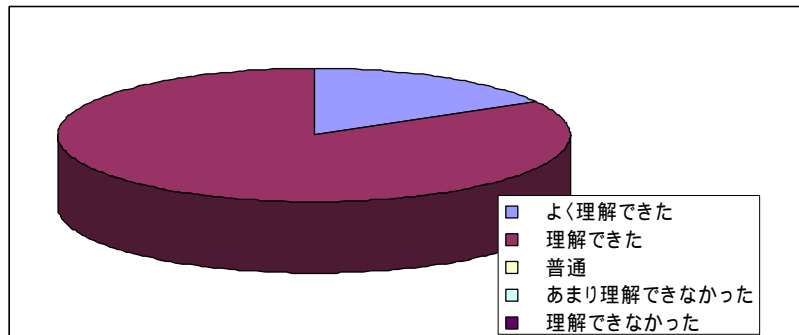


図 4-2-7 設問 1 (小学校間)

設問 2 :

設問 1 で『よく理解できた』・『理解できた』と答えたグループに対して、選択による設問。

【回答】

内容が理解しやすい内容になっていたから。	8人
3次元画像に臨場感があったから。	1人
その他	2人

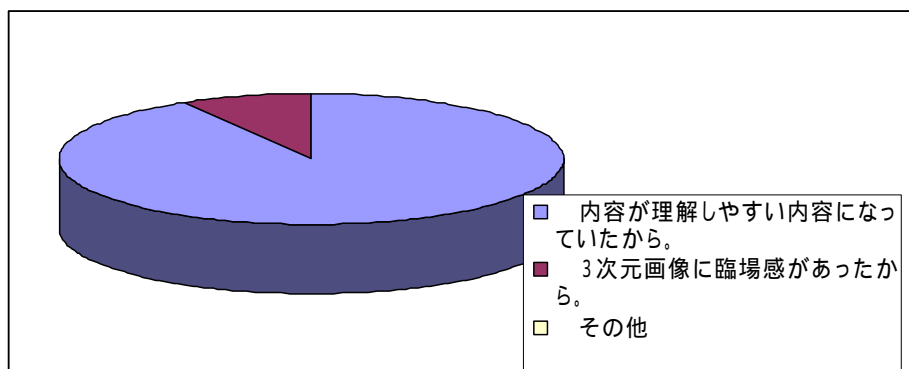


図 4-2-8 設問 2 (小学校間)

設問 3 :

設問 1 で『あまり理解できなかった』・『理解できなかった』と答えたグループに対して、選択による設問。

【回答】

内容が理解しやすい内容になっていたから。	0 人
3次元画像に臨場感があったから。	0 人
その他	0 人

設問 1 で全員、『普通』以上であったため、本設問における回答者は 0 人であった。

設問 4 :

相手校の 3D コンテンツの内容についての設問。

【回答】

- 地域紹介
- 学校紹介
- スキー教室
- 合唱

設問 5 :

3D コンテンツを視聴しての感想についての設問。(ランダム)

【回答】

- 映像が少し悪いところがあったが面白かった。
- とっても面白く、このような交流を増やしていきたい
- あまりこういう機会が少ないのでとても楽しかった
- 画像が見難いところがあったが、わかりやすかった。
- 面白さはあるが遠近感のある素材が必要。
- 立体感があって面白かった
- 立体的で写真を見るよりも迫力があつた
- メガネをかけると立体的に見えた
- 立体で前と後ろがとてもわかりやすかった
- 立体だったので普通のビデオを見るより迫力があつた
- 立体で見やすかった

設問 6 :

3D コンテンツを自ら撮る場合のコンテンツの内容についての設問。

【回答】

- 高いところかの景色
- 夜景
- 宇宙
- 学校の行事
- 飛行機から見た空や雲の様子
- 普段の学校生活
- 授業中の映像
- 生き物



(岐阜県大垣市立北中学校)



(山梨県南アルプス市立白根巨摩中学校)

図 4-2-9 3次元撮像装置による投影実証実験風景(中学校間)



(岐阜県大垣市立北小学校)



(山梨大学附属小学校)

図 4-2-10 3次元撮像装置による投影実証実験風景(小学校間)

## 2.4 考察

### ・可般型の3次元撮像装置による学習効果への影響

今回の実証実験で各モニター小中学校において、事前に撮影した学校独自の3Dコンテンツは、地域紹介、学校行事等を含んだ学校紹介等のコンテンツであり、アンケート結果に示すとおりその内容も、『理解しやすい』内容であった。

各モニター小中学校の各3Dコンテンツは以下のとおりである。

岐阜県大垣市立北中学校	・・・地域紹介 学校紹介（部活等）
岐阜県大垣市立北小学校	・・・地域紹介 学校紹介（部活等）
南アルプス市立白根巨摩中学校	・・・地域紹介 学校紹介（部活等）
山梨大学 附属小学校	・・・スキー教室

3次元バーチャルリアリティシステムに3次元撮像装置を付加したことにより、昨年度の実証実験において課題であった『教諭が自分でコンテンツを作成できる手法』の解決策として、一歩近づけたものとする。しかし、学校側で3次元撮像装置を用いて撮影される3Dコンテンツは、学校行事に即した内容のものが多くなり、3Dコンテンツによる学習効果を、現時点では期待できないと考える。ただし、実証実験でモニター小中学校が撮影した地域紹介の映像を全国規模でライブラリ化することにより、1-4項『MPEG-2 ストリーミング配信』の考察と同様に、3Dコンテンツによる地域・文化コミュニケーションの学習効果を増す上で有益であると考えられる。

また、学校紹介および部活等の紹介の3Dコンテンツは、3次元バーチャルリアリティシステムを利用することにより、参加者に仮想空間における交流が行え、2次元の映像では把握できない相手校の様子等の把握が可能となり、相互コミュニケーションを深める上で有益であると考えられる。

3Dコンテンツを自ら撮影する場合のコンテンツの内容についての設問に対しては、普段の学校での様子から、科学的な映像（天体や宇宙での映像等）と幅の広い回答であった。これは、3次元撮像装置と3次元バーチャルリアリティシステムとの可能性および有用性を示したものと考え、先にも述べた3Dコンテンツの全国規模でライブラリ化を行うコンテンツの一要素であると考えられる。

なお、本実証実験で撮影した学校独自の3Dコンテンツは、3.4項の考察にも述べるが、3次元撮像装置の撮影時における視差角の調整不良により、違和感のある映像が多かった。



### 3 3次元撮像装置の実用性（運用時）

#### 3.1 実験要求事項

各モニター小中学校にて独自の3Dコンテンツを可般型3次元撮像装置により、撮影した際の3次元撮像装置としての実用性について、アンケートによる評価を行う。

#### 3.2 実験仕様、手順

##### 【実験仕様概要】

可般型3次元撮像装置を用いて3Dコンテンツを作成（撮影）する。撮影された3Dコンテンツを、3次元バーチャルリアリティシステムに投影後、撮影時における実用性について、アンケートによる評価を実施する。

##### 【実験手順】

各モニター小中学校において、可般型3次元撮像装置を用いて3Dコンテンツを作成する。

作成した3Dコンテンツを3次元バーチャルリアリティシステムに投影する。

投影後、可般型3次元撮像装置の実用性についてアンケートを実施する。

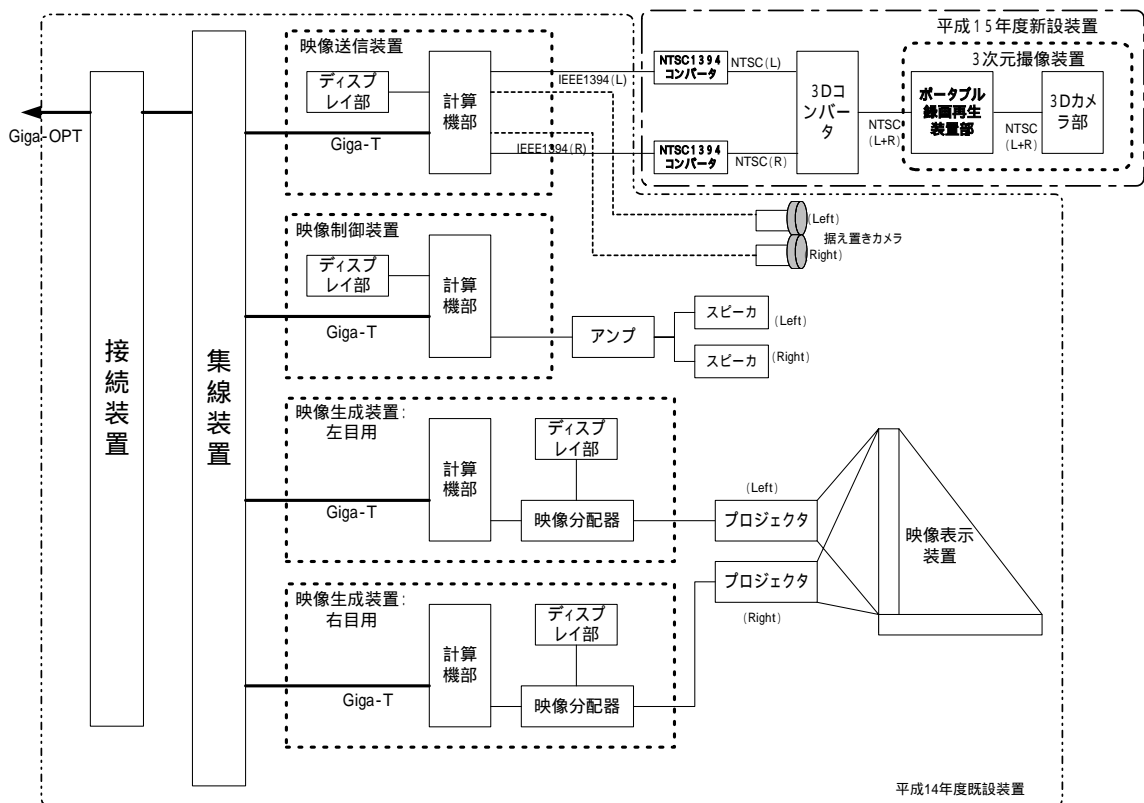


図 4-3-1 3次元撮像装置と3次元バーチャルリアリティシステム（既存）の接続図

【実証実験機器】

実証実験に使用した機器について、可般型 3 次元撮像装置を図 4-3-2、および 3D カメラ部の仕様を表 4-3-1に、3D コンバータを図 4-3-3に、NTSC-IEEE1394 コンバータを図 4-3-4に、システム接続状態を図 4-3-5に示す。



図 4-3-2可般型 3 次元撮像装置

表 4-3-1 可般型 3 次元撮像装置 3D カメラ部の仕様

カラー方式	NTSC
イメージセンサー	1/3インチ、インターライン転送CCD × 2
有効画素エリア	768H × 494Vmm
トータル画素エリア	811H × 508Vmm (41万画素)
走査方式	2 : 1 インターレス
同期方式	内部同期
水平、垂直同期	水平:15.734KHz 垂直:59.94Hz
映像出力	コンポジット出力、Y/C出力
立体映像出力	左右のカメラからの独立した出力、フィールドシーケンシャル方式
カメラコントロール	シャッター、ホワイトバランス、ゲイン調整が可能
使用レンズ	f8 ~ 48mm (6倍)
レンズコントロール	視差角調整機能、ズーム機能、フォーカス機能、アイリス機能
消費電力	7W at 12V
重量	1.6kg
寸法	W:130 × H:60 × D:235 (mm) レンズ、突起部を除く。

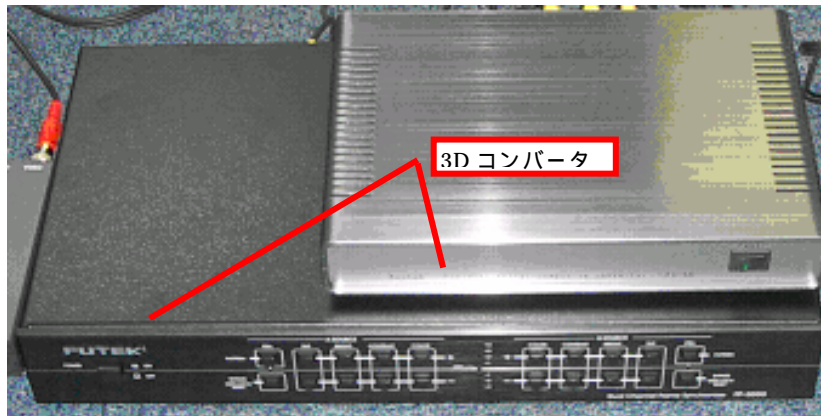


図 4-3-3 3D コンバータ



図 4-3-4 NTSC-IEEE1394 コンバータ



図 4-3-5 システム接続状態

### 3.3 実証実験結果

実験手順に基づいて実施後、アンケートを収集した。なお、アンケートにおける設問内容と、それに対する撮影者の回答結果を以下に示す。

設問：

3次元のビデオコンテンツ(VTR)を作成するときに苦労した点について、記述してください。

【回答】

撮影技術が未熟であったため、いいコンテンツを作成できなかった。

もう少し時間的余裕がほしい。

カメラが重い。

移動に時間がかかる。

ピントと露光が難しい。

遠近感がある素材が必要。(選択が難しい)

オートフォーカス等の機能がほしい。

撮影時に3次元画像になっているか判別できない。

ズームした時に連動して他のカメラ機能の調整が難しい。

### 3.4 考察

本実証実験で使用した可般型 3 次元撮像装置の 3D カメラ部により撮影された映像が立体感を得るのに最適な調整値は、肉眼と同じ約 7cm の間隔で、距離 1m ~ 4m 程度の範囲になる。これを被写体までの角度（輻湊角）にすると、約 1 度 ~ 4 度の範囲となる。（図 4-3-6）

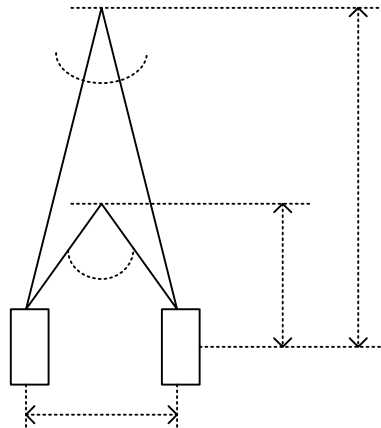


図 4-3-6 3D カメラの原理

また、被写体まで数 10m 離れると、2 物体の前後関係が肉眼では、判別出来なくなる。そこで、この距離を 4m 以内、つまり、1 度 ~ 4 度の範囲に収めると良い事になり、カメラとカメラの間隔は、必要角度まで広げる事になる。

しかし、本実証実験で使用した可般型 3 次元撮像装置は、このカメラとカメラの間隔は固定であるため、3D カメラ部に付加されたズーム機能および視差角調整機能により、マニュアルにて調整して撮影することになる。ただし、動的に動く被写体を撮影する場合など、ズーム調整および視差角調整の他に、フォーカス調整も必要になり、撮影者の負担が増え、3D に適した画像を撮影することが困難になっていたと考えられる。

よって、アンケートにもあるが、フォーカスの自動調整機能や視差角調整の自動調整機能等を 3D カメラ部に付加し、かつ軽量化を図ることが、視差角のずれによる違和感を抑えることが可般型 3 次元撮像装置の実用性能を高め、より良い 3D コンテンツを撮影する上での今後の課題である。

## 4 伝送パケットサイズの違いによる伝送帯域（速度）の影響度

### 4.1 実験要求事項

可搬型 3次元撮像装置により撮影したコンテンツを、モニター小中学校に対して IPv6 マルチキャストにてギガビットネットワークに伝送し、伝送帯域とパケットサイズとの関連性を検証する。

### 4.2 実験仕様、手順

#### 【実験仕様概要】

可搬型 3次元撮像装置により撮影した 3D コンテンツを、モニター小学校間、およびモニター中学校間で IPv6 マルチキャストにてギガビットネットワークに交互に伝送し、それぞれの伝送帯域とパケットサイズとの関連性について検証する。

但し、上述の実験仕様については、以下の伝送速度検証と同じであるため、検証方法、および手順については、以下の手順に従う。

#### 《検証方法》

OS 標準の通信性能評価ツール（伝送速度（スループット）を計測するソフトウェア（TTCP））を用いて、岐阜県側モニター小中学校の 3次元バーチャルリアリティシステムの端末と山梨県側モニター小中学校の 3次元バーチャルリアリティシステムの端末との間の伝送速度を計測する。計測の際、TCP セッションによるスループットの計測を実施し、その際の最適値について検証する。

ネットワークにおける実行帯域を測定することにより、3次元バーチャルリアリティシステムが、ネットワーク上にパケットを送出することが可能な伝送帯域を測定できる。それにより、可搬型 3次元撮像装置を 3次元バーチャルリアリティシステムに接続し、撮影した 3D コンテンツを相手校に伝送し、計測等から得られる伝送速度等と同一の検証となる。

#### 【実験手順】

OS の hosts ファイルに、モニター小中学校の 3次元バーチャルリアリティシステムにおける映像送信装置の IPv6 アドレスが記載されていることを確認する。

モニター小学校間、およびモニター中学校のそれぞれにおいて、測定パケットを送出する側の端末（映像送信装置）と受信する側の端末（映像制御装置）にわかれて計測を行う。

測定パケットを受信する側の学校の映像制御装置で、以下のコマンドを実行し、待ち受け状態にする。

```
>ttcp -r -P6
```

測定パケットを送信する側の学校の映像送信装置で、以下のコマンドで送信先の hosts 名を指定して実行し、計測を開始する。なお、送出パケットは、IPv6 での TCP パケットにて送出する。

>tcp -t -P6 *hosts-name* (TCP パケットでのスループット測定)

上述、 項から 項を 3 回繰り返した後、送信する側の学校と受信する側の学校を入れ替えて計測を実施する。

なお、計測結果は画面等をキャプチャしてデータ等を保存する。

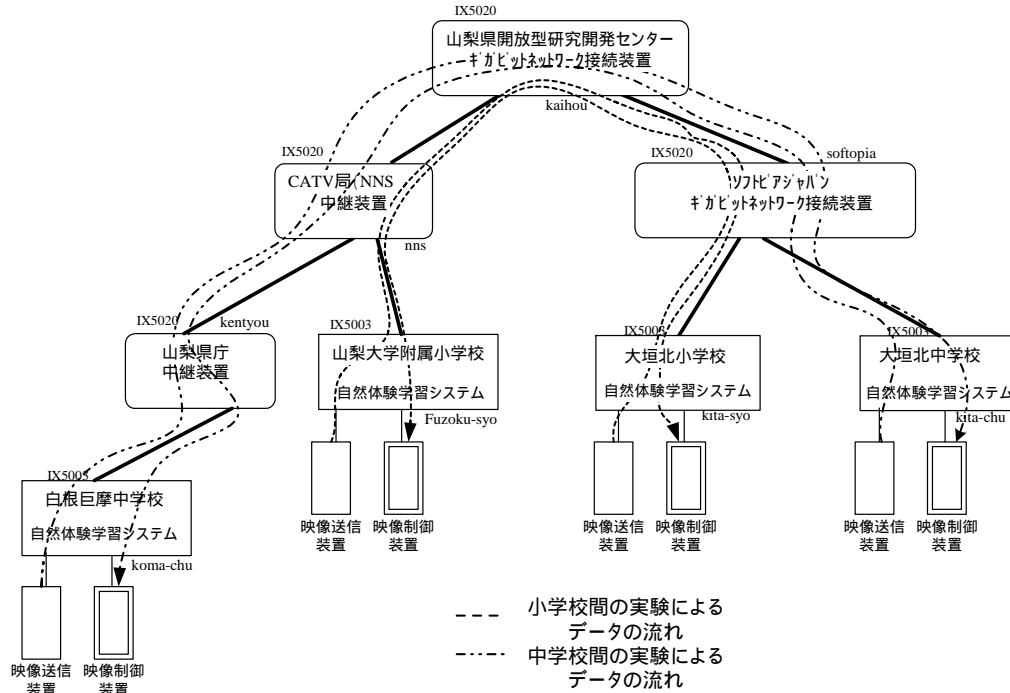


図 4-4-1 実証実験システムにおけるデータの流れ

【実証実験機器】

実証実験に使用した機器について、モニター小中学校の 3 次元バーチャルリアリティシステムにおける映像送信装置、および映像制御装置を図 4-4-2 に示す。



図 4-4-2 映像送信装置、および映像制御装置

モニター小中学校に設置してある 3 次元バーチャルリアリティシステムの映像送信装置、映像制御装置のスペックを表 4-4-1 に示す。

表 4-4-1 映像送信装置、映像制御装置のスペック

CPU:	Pentium4 (2.2GHz)
Memory:	1 GByte (256MB増設メモリ × 4)
NIC:	1000BASE-T/100BASE-TX/10BASE-Tインターフェース
DISK:	80GB HDD
OS:	WindowsXP(SP1)

また、データは、8192Kbyte のデータを 2048 回送出し、合計 16Mbyte のデータを送信側の端末から受信側の端末に転送し、データ転送に要した時間をスループット時間とした。

#### 4.3 実証実験結果

##### (1) 中学校間のスループット

山梨県南アルプス市立白根巨摩中学校と岐阜県大垣市立北中学校間で、実施した伝送速度(スループット)の測定結果を表 4-4-2 に示す。

表 4-4-2 中学校間スループット試験結果

大垣市立北中学校 南アルプス市立白根巨摩中学校

送信側:大垣市立北中学校					
No.1	No.2	No.3	平均	Kbit/sec	Mbps
16,777,216Byte	16,777,216Byte	16,777,216Byte			
21,783msec	22,154msec	22,854msec			
770.2KB/sec	757.3KB/sec	734.1KB/sec	753.9KB/sec	6030.9Kbps	6.0Mbps

受信側:南アルプス市立白根巨摩中学校					
No.1	No.2	No.3	平均	Kbit/sec	Mbps
16,777,216Byte	16,777,216Byte	16,777,216Byte			
21,793msec	22,155msec	22,864msec			
769.8KB/sec	757.3KB/sec	733.8KB/sec	753.6KB/sec	6029.0Kbps	6.0Mbps

南アルプス市立白根巨摩中学校 大垣市立北中学校

送信側:南アルプス市立白根巨摩中学校					
No.1	No.2	No.3	平均	Kbit/sec	Mbps
16,777,216Byte	16,777,216Byte	16,777,216Byte			
22,433msec	23,000msec	24,421msec			
730.0KB/sec	712.0KB/sec	670.0KB/sec	704.0KB/sec	5632.0Kbps	5.6Mbps

受信側:大垣市立北中学校					
No.1	No.2	No.3	平均	Kbit/sec	Mbps
16,777,216Byte	16,777,216Byte	16,777,216Byte			
22,448msec	22,999msec	24,421msec			
729.0KB/sec	712.0KB/sec	670.0KB/sec	703.7KB/sec	5629.3Kbps	5.6Mbps



山梨県南アルプス市立白根巨摩中学校からも、岐阜県大垣市立北中学校間からも、ほぼ 6Mbps のスループットが出ている。山梨県南アルプス市立白根巨摩中学校での実行結果の端末画面(映像送信装置)を図 4-4-3に示す。

```
コマンド プロンプト
:::104
ttcp-t: buflen=8192, nbuf=2048, align=16384/+0, port=5001 tcp -> kitapc
ttcp-t: done sending, nbuf = -1
ttcp-t: 16777216 bytes in 22433 real milliseconds = 730 KB/sec
ttcp-t: 2048 I/O calls, msec/call = 10, calls/sec = 91, bytes/call = 8192

C:\>ttcp -P6 -t kitapc
ttcp-t: kitapc -> 3ffe:516:39e0:2210::104
ttcp-t: local 3ffe:516:39e0:1241:4cdf:a994:f21:d4da -> remote 3ffe:516:39e0:2210
:::104
ttcp-t: buflen=8192, nbuf=2048, align=16384/+0, port=5001 tcp -> kitapc
ttcp-t: done sending, nbuf = -1
ttcp-t: 16777216 bytes in 23000 real milliseconds = 712 KB/sec
ttcp-t: 2048 I/O calls, msec/call = 11, calls/sec = 89, bytes/call = 8192

C:\>ttcp -P6 -t kitapc
ttcp-t: kitapc -> 3ffe:516:39e0:2210::104
ttcp-t: local 3ffe:516:39e0:1241:4cdf:a994:f21:d4da -> remote 3ffe:516:39e0:2210
:::104
ttcp-t: buflen=8192, nbuf=2048, align=16384/+0, port=5001 tcp -> kitapc
ttcp-t: done sending, nbuf = -1
ttcp-t: 16777216 bytes in 24421 real milliseconds = 670 KB/sec
ttcp-t: 2048 I/O calls, msec/call = 11, calls/sec = 83, bytes/call = 8192

C:\>
```

図 4-4-3 山梨県南アルプス市立白根巨摩中学校での実行結果

## (2). 小学校間のスループット

山梨大学付属小学校と岐阜県大垣市立北小学校間で、実施した伝送速度(スループット)の測定結果を表 4-1-1に示す。

表 4-4-3 小学校間スループット試験結果

岐阜県大垣市立北小学校 山梨大学附属小学校					
送信側:岐阜県大垣市立北小学校					
No.1	No.2	No.3	平均	Kbit/sec	Mbps
16,777,216Byte	16,777,216Byte	16,777,216Byte			
21.654msec	22.156msec	22.854msec			
774.8KB/sec	757.2KB/sec	734.1KB/sec	755.4KB/sec	6043.0Kbps	6.0Mbps
受信側:山梨大学附属小学校					
No.1	No.2	No.3	平均	Kbit/sec	Mbps
16,777,216Byte	16,777,216Byte	16,777,216Byte			
21.664msec	22.166msec	22.856msec			
774.4KB/sec	756.9KB/sec	734.0KB/sec	755.1KB/sec	6041.0Kbps	6.0Mbps

山梨大学附属小学校 岐阜県大垣市立北小学校					
送信側:山梨大学附属小学校					
No.1	No.2	No.3	平均	Kbit/sec	Mbps
16,777,216Byte	16,777,216Byte	16,777,216Byte			
23.736msec	21,989msec	21,984msec			
690.0KB/sec	745.0KB/sec	745.0KB/sec	726.7KB/sec	5813.3Kbps	5.8Mbps
受信側:岐阜県大垣市立北小学校					
No.1	No.2	No.3	平均	Kbit/sec	Mbps
16,777,216Byte	16,777,216Byte	16,777,216Byte			
23.746msec	21,988msec	21,983msec			
689.0KB/sec	745.0KB/sec	745.0KB/sec	726.3KB/sec	5810.7Kbps	5.8Mbps

山梨大学附属小学校からも、岐阜県大垣市立北小学校間からも、ほぼ 6Mbps のスループットが出ている。

山梨大学附属小学校での実行結果の端末画面(映像送信装置)を図 4-4-4に示す。

```

C:\>ttcp -P6 -t kitaspc
ttcp-t: buflen=8192, nbuf=2048, align=16384/+0, port=5001 tcp -> kitaspc
ttcp-t: done sending, nbuf = -1
ttcp-t: 16777216 bytes in 23736 real milliseconds = 690 KB/sec
ttcp-t: 2048 I/O calls, msec/call = 11, calls/sec = 86, bytes/call = 8192

C:\>ttcp -P6 -t kitaspc
ttcp-t: kitaspc -> 3ffe:516:39e0:2310::101
ttcp-t: local 3ffe:516:39e0:1310:15fc:11fb:3bca:bf6d -> remote 3ffe:516:39e0:2310::101
ttcp-t: buflen=8192, nbuf=2048, align=16384/+0, port=5001 tcp -> kitaspc
ttcp-t: done sending, nbuf = -1
ttcp-t: 16777216 bytes in 21989 real milliseconds = 745 KB/sec
ttcp-t: 2048 I/O calls, msec/call = 10, calls/sec = 93, bytes/call = 8192

C:\>ttcp -P6 -t kitaspc
ttcp-t: kitaspc -> 3ffe:516:39e0:2310::101
ttcp-t: local 3ffe:516:39e0:1310:15fc:11fb:3bca:bf6d -> remote 3ffe:516:39e0:2310::101
ttcp-t: buflen=8192, nbuf=2048, align=16384/+0, port=5001 tcp -> kitaspc
ttcp-t: done sending, nbuf = -1
ttcp-t: 16777216 bytes in 21984 real milliseconds = 745 KB/sec
ttcp-t: 2048 I/O calls, msec/call = 10, calls/sec = 93, bytes/call = 8192

C:\>
    
```

図 4-4-4 山梨大学附属小学校での実行結果

#### 4.4 考察

可搬型 3 次元撮像装置は、3 次元バーチャルリアリティシステムの映像送信装置に接続されているため、可搬型 3 次元撮像装置により撮影したコンテンツが IPv6 マルチキャストにてギガビットネットワーク上に伝送する最大データ量は、3 次元バーチャルリアリティシステムの映像送信装置が送出するデータ量(パケット量)に依存する。

また、3 次元バーチャルリアリティシステムの映像送信装置が送出するデータ量(パケット量)は、JPEG 画像は画像品質と更新レートに比例することがわかっており、以下の式にて表される。

$$(\text{横解像度} \times \text{縦解像度} \times \text{色}(r,g,b) \times \text{カメラ個数} \times \text{圧縮係数} \times \text{更新レート})$$

本実証実験から得られたスループット値は、TCP セッションによる実験で約 6Mbps であることがわかった。UDP セッションの場合は、コネクションレスであるため、TCP におけるオーバーヘッドが無い分、パケットロスが無いことを前提に考えれば、この結果より良い結果が得られると考えられる。よって、本考察においては、実験結果のスループット値である約 6Mbps を用いて、最適な圧縮係数、および更新レートを以下に考察する。

##### (1). 圧縮係数 = 1 の場合

圧縮係数 = 1 の場合は、上述の計算式と実験結果より以下の式 4-1で表せる。

$$\text{式 4-1 横解像度} \times \text{縦解像度} \times \text{色}(r,g,b) \times \text{カメラ個数} \times \text{圧縮係数} \times \text{更新レート} = 6\text{Mbps}$$

横解像度=320[pixel]、縦解像度=240[pixel]、色(r,g,b)=3[byte]、カメラ個数=2 と固定であるため、上述の式 4-1は以下の式になる。

$$320 \times 240 \times 3 \times 2 \times 1 \times \text{更新レート} = 6\text{Mbps}(6000\text{Kbps}) \div 8$$

よって、

$$\text{更新レート} = 6000 \times 1000 \div 8 \div (320 \times 240 \times 3 \times 2 \times 1) = 1.627 \text{ 回/sec}$$

となり、1 秒間に 1.6 回程度の動画の更新では、画像は荒くなり最適とはいえない。

##### (2). 圧縮係数 = 0.5 の場合

圧縮係数 = 0.5 の場合は、上述の計算式と実験結果より以下の式 4-2で表せる。

$$\text{式 4-2 横解像度} \times \text{縦解像度} \times \text{色}(r,g,b) \times \text{カメラ個数} \times \text{圧縮係数} \times \text{更新レート} = 6\text{Mbps}$$

横解像度=320[pixel]、縦解像度=240[pixel]、色(r,g,b)=3[byte]、カメラ個数=2 と固定であるため、上述の式 4-2は以下の式になる。

$$320 \times 240 \times 3 \times 2 \times 0.5 \times \text{更新レート} = 6\text{Mbps}(6000\text{Kbps}) \div 8$$

よって、

$$\text{更新レート} = 6000 \times 1000 \div 8 \div (320 \times 240 \times 3 \times 2 \times 1) = 3.255 \text{ 回/sec}$$

となり、1 秒間に 3.25 回程度(300msec/回)の動画の更新では、やはり画像は荒く最適とはいえない。

(3). 圧縮係数 = 0.3 の場合

圧縮係数= 0.3 の場合は、上述の計算式と実験結果より以下の式 4-3で表せる。

式 4-3 横解像度×縦解像度×色(r,g,b) ×カメラ個数×圧縮係数×更新レート = 6Mbps

横解像度=320[pixel]、縦解像度=240[pixel]、色(r,g,b)=3[byte]、カメラ個数=2 と固定であるため、上述の式 4-3は以下の式になる。

$$320 \times 240 \times 3 \times 2 \times 0.3 \times \text{更新レート} = 6\text{Mbps}(6000\text{Kbps}) \div 8$$

よって、

$$\text{更新レート} = 6000 \times 1000 \div 8 \div (320 \times 240 \times 3 \times 2 \times 1) = 5.425 \text{ 回/sec}$$

となり、1秒間に5.425回(5.425フレーム/sec)、つまり184msec/回の動画の更新となる。通常、ビデオ等の更新レートが25~30フレーム/secであり、実質5分の1程度の更新レートである。しかしながら、圧縮係数をこれ以上落とすことは、画質の低下が考えられる確ではない。更新レートによる画像の荒さも多少残るが、最適値であると判断する。

可搬型3次元撮像装置により撮影したコンテンツを、3次元バーチャルリアリティシステムの映像送信装置から、ギガビットネットワーク上にIPv6マルチキャストにて伝送する際の伝送帯域(スループット)から得られた更新レートの値は、5~6フレーム(圧縮係数=0.3の場合)と推定される。

なお、2項における『コンテンツ学習による効果(可搬型の3次元撮像装置)』の実証実験においても、この圧縮係数と更新レートの値にて実証実験を行っており、実証実験からも最適値であることが証明されている。

しかしながら、更新レートの値は、5~6フレーム(圧縮係数=0.3の場合)は、画像、および画質的にも決してよい値とはいえない。更新レートの値で20フレーム以上、かつ圧縮係数で0.8以上にするには、ネットワーク上のスループットを以下の値にする必要がある。

$$320 \times 240 \times 3 \times 2 \times 0.8 \times 20 \times 8 = 58,982,400 \text{ bps} = 58.9\text{Mbps}$$

ただし、この値は1校あたりの値であり、複数項で接続の場合は単純に接続している学校分を掛けた値のスループットが要求される。

3次元バーチャルリアリティシステムの全国規模での導入運用を考慮し、ネットワーク上の帯域を考慮したシステム制限値(接続参加校)等も必要となるため、3次元バーチャルリアリティシステムの画像圧縮に対する改良を重ねて行きたい。