

第四章

自然体験学習の 実証実験

1 IPv6 マルチポイントマルチキャスト技術

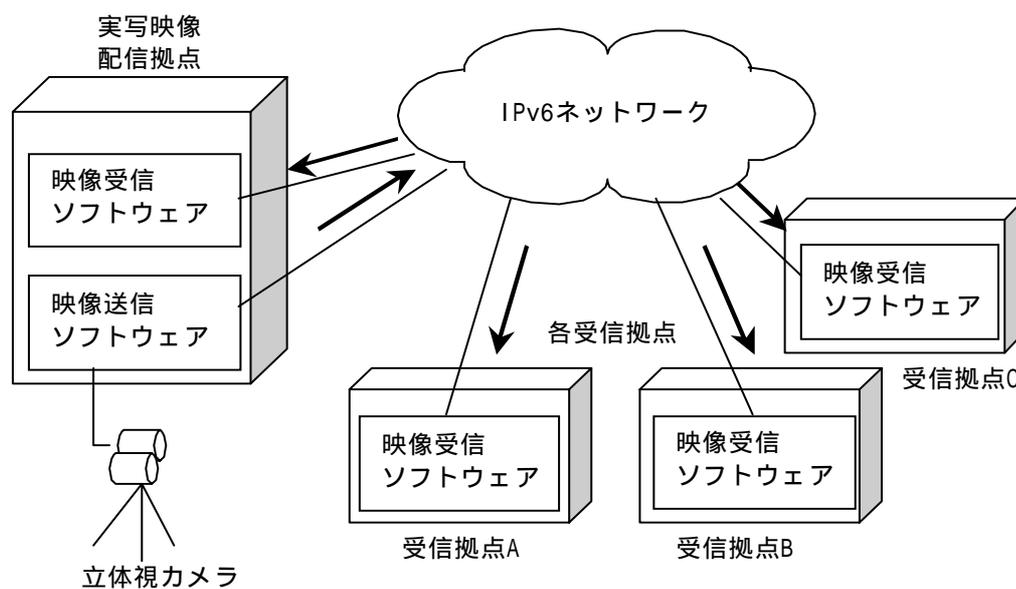
1.1 実験要求事項

- (1) 配信映像の遅延
1 拠点から複数の他拠点への実写立体映像の配信を、IPv6 マルチキャストおよびユニキャストで行い、それぞれの場合の配信遅延時間を測定・比較する。
- (2) 映像配信時のルータの負荷
1 拠点から複数の他拠点への実写立体映像の配信を、IPv6 マルチキャストおよびユニキャストで行い、それぞれの場合におけるルータの負荷を測定・比較する。
- (3) 映像配信時の送信サーバの負荷
1 拠点から複数の他拠点への実写立体映像の配信を、IPv6 マルチキャストおよびユニキャストで行い、それぞれの場合における配信拠点での映像送信サーバの負荷を測定・比較する。
- (4) パケットロス量と立体映像品質の相関
1 拠点から複数の他拠点への実写立体映像の配信を IPv6 マルチキャストで行い、パケットロス量と立体映像品質との相関を検証する。
- (5) トラフィック変動とリアルタイム性
3次元 VR に参加する学校数（参加拠点数）が変化した時、トラフィック量の変動と映像のリアルタイム性の相関を検証する。
- (6) スループット変動とリアルタイム性
3次元 VR において、ネットワークの通信速度が変化した時、スループットの変動と映像品質の相関を検証する。
- (7) リアルタイム性の変動と被験者のストレス
トラフィック量の変化等による映像のリアルタイム性の変動が、3次元 VR の被験者に与えるストレスを評価する。
- (8) 3D 操作デバイスイベントの遅延
3次元 VR において、1 拠点で3D 操作デバイスを使用している時、そのデバイスの操作イベントを複数の他拠点で認識するまでの時間差を測定する。
- (9) 3D 操作デバイスイベントの遅延が被験者に与える影響
3次元 VR において、1 拠点で3D 操作デバイスを使用している時、そのデバイスの操作イベントを複数の他拠点で認識するまでの時間差が、被験者に与える影響を評価する。

1.2 実験仕様、手順

3次元VR遠隔授業に参加する小中学校4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、大垣市立北中学校を、データ配信・受信の実験拠点とする。

図4-1-1に示すとおり、立体視カメラから取り込んだ実写立体映像データを、1つの拠点からIPv6で映像送信ソフトウェアによって配信し、映像受信ソフトウェア（映像生成ソフトウェア、またはその映像受信モジュール単体）により受信・表示し、この状態で各検証を実施する。



実験拠点の構成概念図

図4-1-2のソフトウェア構成図により、本システムにおける映像送信ソフトウェアと映像受信ソフトウェアの位置づけを示す。

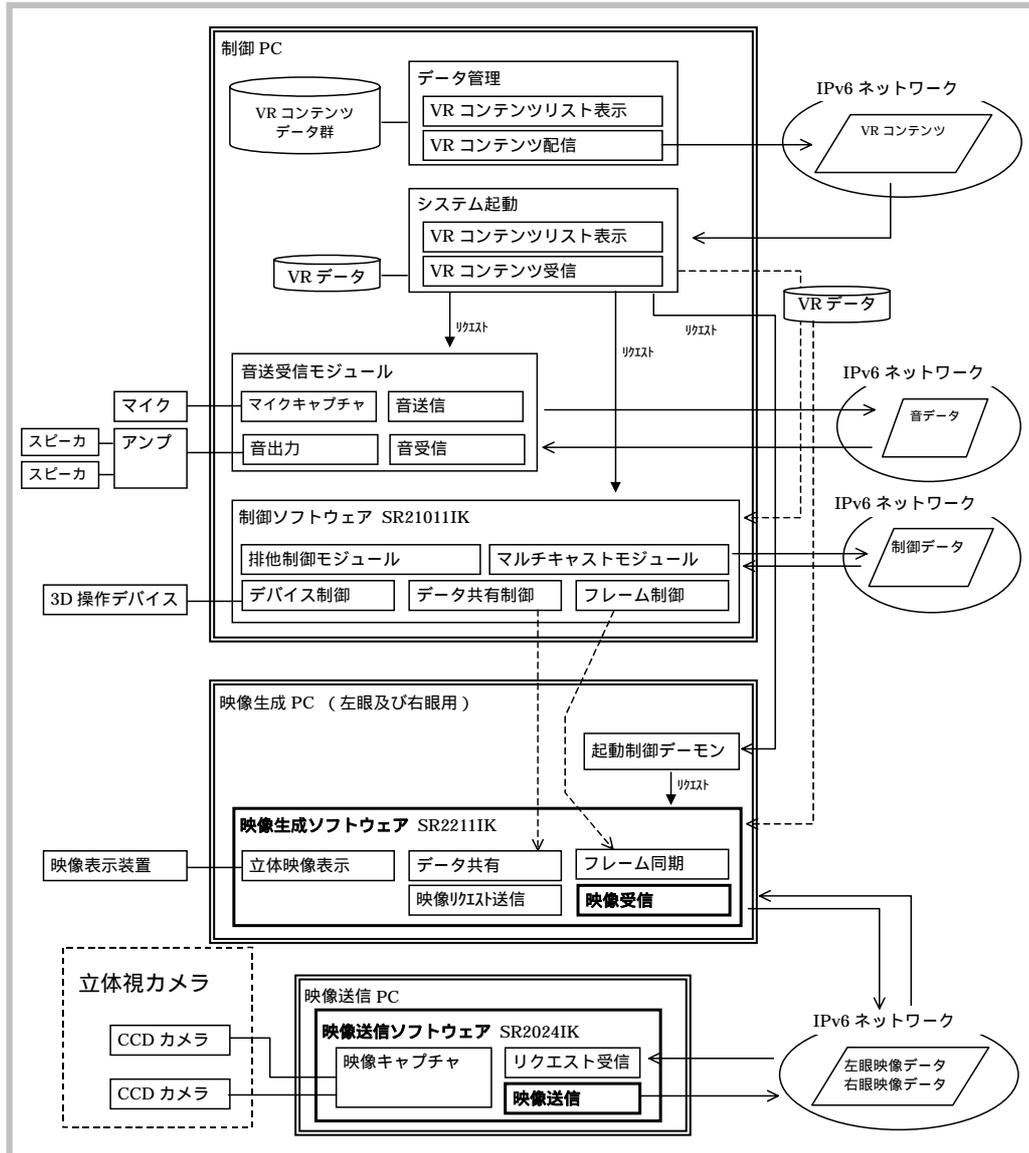


図 4-1-2 ソフトウェア構成図

(1) 配信映像の遅延

実写映像を立体視カメラから取り込み、ネットワークに配信する配信拠点を、白根巨摩中学校または大垣市立北中学校とし、それぞれ実験を行う。

配信拠点は自身を含めた4拠点にある映像受信ソフトウェアに対して実写映像を配信する。

受信拠点では、配信された映像を観察する。

遅延の測定は、配信拠点の実験者が、電話等の通信手段を使って映像の変化に対して合図して、受信拠点の実験者が観察している受信映像の変化を確認し、その間の遅延時間を、ストップウォッチを使って計測する。

以上の検証を、ユニキャストによる通信およびマルチキャストによる通信で実施する。

【実験手順】

（配信拠点側）

立体視カメラを映像送信装置に接続。

映像送信装置の映像送信ソフトウェアを起動。

映像送信ソフトウェア（図 4-1-3）で、IPv6 ユニキャストにてネットワークオープン。

携帯電話で、受信側の実験者と通話状態で待機。



図 4-1-3 映像送信ソフトウェア

（受信拠点側）

映像受信ソフトウェアを起動。

映像受信ソフトウェアでサーバを指定して、配信されるカメラ映像の受信を開始。（図 4-1-4）

携帯電話で、送信側の実験者に実験開始可能な状態であることを通知。

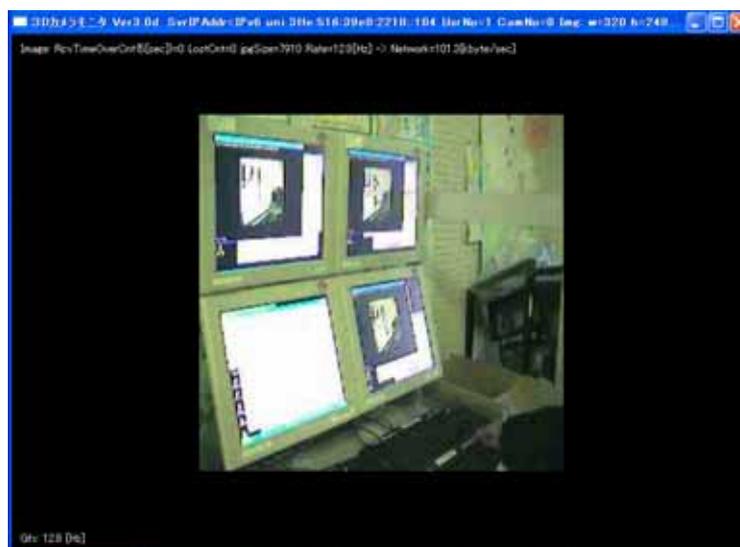


図 4-1-4 映像受信ソフトウェアで配信されたカメラ映像

(配信拠点側)

映像を配信している立体視カメラの前に手を開いてかざし、待機。

(図 4-1-5)

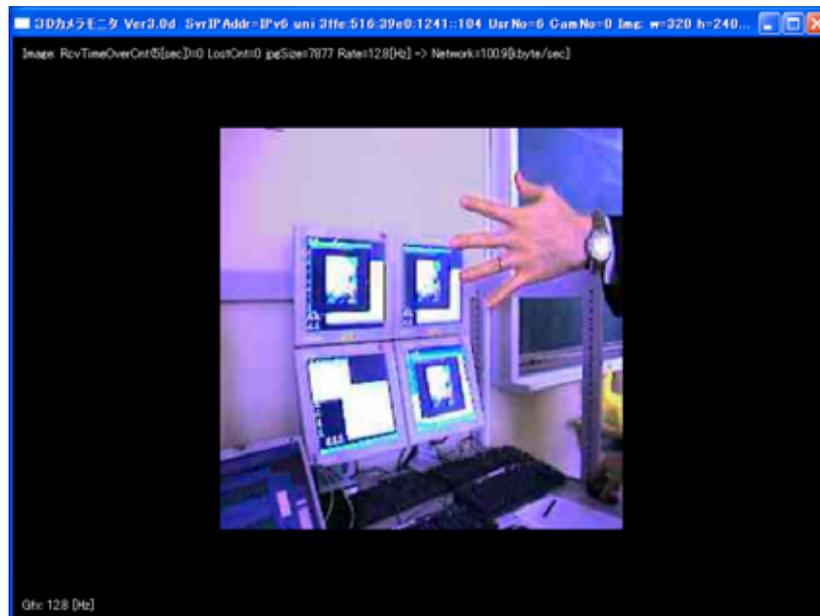


図 4-1-5 手を開いた状態のカメラ画像

(受信拠点側)

送信側実験者の手が映っている画像を確認したら、受信側実験者は携帯電話で送信側実験者に対して、合図するとともに手元のストップウォッチをスタートする。

(配信拠点側)

受信側実験者側からの合図により手を閉じる。(図 4-1-6)



図 4-1-6 手を閉じた状態のカメラ画像

(受信拠点側)

映像で送信側実験者の手が閉じたことを確認すると同時にストップウォッチをストップし、その計時を記録。

以上の手順について、配信拠点 1 ヶ所につき、各受信拠点で 10 回の計測を実施。

また、配信拠点としては白根巨摩中学校、大垣市立北中学校の 2 ヶ所で、順次実施する。

なお、 項から 項は、ユニキャストによる実験手順であるが、マルチキャストについても同様の手順にて実施する。その際、 項の映像送信ソフトウェアの設定 (図 4-1-7) および映像受信ソフトウェアの設定をマルチキャスト (ff05::1) に変更して実施する。

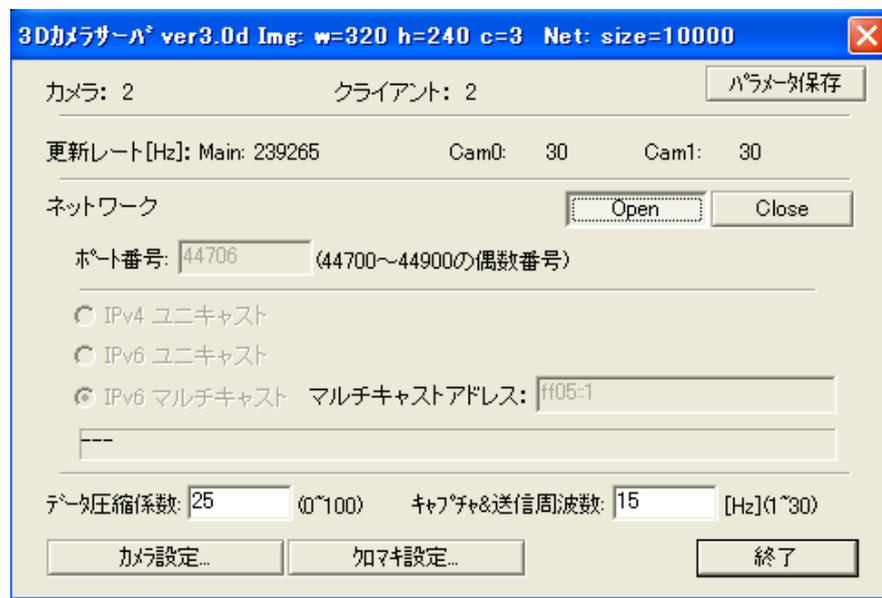


図 4-1-7 マルチキャストでオープンした送信サーバ

(2) 映像配信時のルータの負荷

(1)項と同様に、実写映像を立体視カメラから取り込み、ネットワークに配信する配信拠点を、白根巨摩中学校または大垣市立北中学校として実験を行う。

配信拠点は自身を含めた 4 拠点にある映像受信ソフトウェアに対して実写映像を配信する。

映像配信は、配信拠点 1 ヶ所あたり 30 分程度行い、測定対象拠点のルータにかかる負荷を測定する。

以上の実験を、ユニキャストによる通信、およびマルチキャストによる通信の双方で実施する。

なお、全ての実験拠点において、音送受信モジュール (ソフトウェア) を起動して、相互通話可能な状態にしておく。

【実験手順】

（配信拠点側）

立体視カメラを映像送信装置に接続。
映像送信装置の映像送信ソフトウェアを起動。
映像送信ソフトウェアで、送信を IPv6 ユニキャストでネットワークオープン。

（受信拠点側）

映像受信ソフトウェアを起動。
映像受信ソフトウェアでサーバを指定して、配信されるカメラ映像を受信開始。

（ルータ負荷測定者の手順）

配信拠点において映像配信実行状態にあり、かつ各受信拠点において映像受信状態であることを確認し、この時のルータの負荷率（CPU 使用率）を記録する。

（以上の手順について）

配信拠点 1ヶ所につき、30分程度配信状態を継続し、ルータの負荷率の測定を実施する。
なお、配信拠点を白根巨摩中学校、大垣市立北中学校に変更して、実験を実施する。
以上は、ユニキャストによる通信で行う手順であるが、映像送信ソフトウェアおよび映像受信ソフトウェアの設定をマルチキャストによる通信に変更して、同様の手順での計測を繰り返す。マルチキャストアドレスは、ff05::1 とする。

(3) 映像配信時の送信サーバの負荷

(1)項と同様に、実写映像を立体視カメラから取り込み、ネットワークに配信する配信拠点を、白根巨摩中学校または大垣市立北中学校として実験を実施する。

配信拠点は自身を含めた4拠点にある映像受信ソフトウェアに対して実写映像を配信する。映像配信は、配信拠点1ヶ所あたり、およそ30分行う。

この状態で、各拠点の映像配信の送信サーバである映像送信装置においての、CPUにかかる負荷（CPU負荷率）を測定する。

以上の実験を、ユニキャストによる通信、およびマルチキャストによる通信の双方で実施する。

なお、全ての実験拠点において、音送受信モジュール（ソフトウェア）を起動して、相互通話可能な状態にしておく。

【実験手順】

（配信拠点側）

立体視カメラを映像送信装置に接続。
映像送信装置の映像送信ソフトウェアを起動。
映像送信ソフトウェアで、送信を IPv6 ユニキャストでネットワークオープンする。

(受信拠点側)

映像受信ソフトウェアを起動。

映像受信ソフトウェアでサーバを指定して、配信されるカメラ映像の受信を開始。

(送信サーバ負荷測定者の手順)

送信サーバとなる映像送信装置の CPU 負荷率の測定には、映像送信装置の OS である WindowsXP に付属のユーティリティソフトウェアであるの「パフォーマンスログ」を使用する。(図 4-1-8)

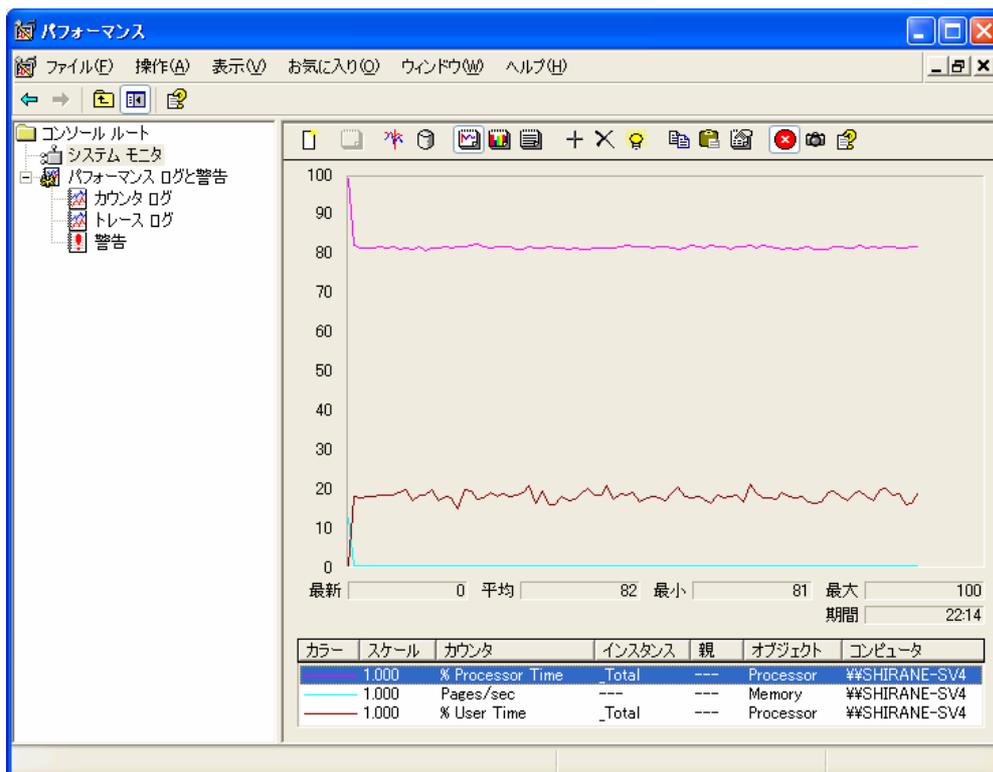


図 4-1-8 パフォーマンスログ画面

「パフォーマンスログ」では、カウンタログに Processor オブジェクトのカウンタ「Processor Time」「User Time」を追加して記録を取る。

カウンタログの開始・終了イベントは、手動とする。

配信拠点において映像配信実行状態であり、かつ各受信拠点において映像受信状態であることを確認する。この状態でカウンタログを開始して、送信サーバの CPU 負荷率を記録する。

20 分間程度の記録を行い、カウンタログを停止する。

以上の手順について、配信拠点として白根巨摩中学校、大垣市立北中学校の 2 ヶ所で計測をおこなう。

以上は、ユニキャストによる通信で行う手順であるが、映像送信ソフトウェアおよび映像受信ソフトウェアの設定をマルチキャストによる通信に変更して、同手順にて計測を実施する。マルチキャストアドレスは、ff05::1 とする。

(4) パケットロス量と立体映像品質の相関

アプリケーションレベルでの送信データパケットに対し、受信データパケットの到着順序が2以上入れ替わると実写映像受信ソフトウェアではロスパケットとして廃棄され、受信映像更新レートが低下して映像品質が劣化する。

このことを利用し、アプリケーションのパケットロス量であるロストカウントと、受信映像更新レートの関係を測定する。

映像送信ソフトウェアで、送信データパケットサイズと1フレームあたりの画像データサイズを調整し、以下の3通りの条件を設定し、この条件において測定を実施し比較を行う。

条件1 . パケットロスはほとんど起こらない。

条件2 . パケットロスは時々起こりうる。

条件3 . パケットロスは頻繁に起こりうる。

実証実験の構成は、実験拠点4ヶ所それぞれの映像送信装置で映像送信サーバを起動し、映像制御装置および映像生成装置で実行するVRソフトウェアにより、相互に実写映像を受信する構成とする。

【実験手順】

(映像配信手順)

立体視カメラを映像送信装置に接続。

映像送信装置の映像送信ソフトウェアを、表4-1-1の設定条件で起動する。

表4-1-1 送信サーバの設定

	送信データサイズ	データ圧縮係数 (画像データサイズ)
条件1	10 Kbyte	25 (7~8 Kbyte)
条件2	10 Kbyte	75 (10~20 Kbyte)
条件3	1 Kbyte	75 (10~20 Kbyte)

映像送信ソフトウェアで、送信をIPv6マルチキャストでネットワークオープンする。

(映像受信手順)

VRソフトウェアの起動。

VRソフトウェアで4拠点の映像送信サーバを指定して、配信される4拠点分のカメラ映像の受信を開始。

VRソフトウェアの映像受信情報を表示し、4拠点から受信している画像データのロストカウントと、受信映像更新レートの表示データをそれぞれ読み取り、1分間、記録する。

以上の手順を前述の条件1,2,3と変えた場合について、手順 から 項の測定を繰り返す。

(5) トラフィック変動とリアルタイム性

(4)項と同様の実験構成で、実写映像の送信と3次元VRの実行を行う。

参加拠点数を2, 3, 4ヶ所と順次増やし、トラフィック量を増加させるとともに、その際のリアルタイム性について、受信した実写映像の更新レートを記録し、比較評価を行う。

1参加拠点ごとに、映像送信装置上で映像送信サーバを起動し、他拠点到実写映像を配信する。配信された実写映像を映像制御装置および映像生成装置で実行するVRソフトウェアにより、拠点間で相互に実写映像を受信する。

【実験手順】

(映像配信手順)

立体視カメラを映像送信装置に接続。

映像送信装置の映像送信ソフトウェアを、表4-1-2の設定にて起動する。

表4-1-2 送信サーバの設定

送信データサイズ	30 Kbyte
データ圧縮係数 (画像データサイズ)	75 (10~20 Kbyte)
送信周波数	5 フレーム/sec
マルチキャストアドレス	ff05::1

映像送信ソフトウェアで、送信をIPv6マルチキャストでネットワークオープンする。

(映像受信手順)

VRソフトウェアを起動。

VRソフトウェアで参加拠点の映像送信サーバを指定して、配信される参加拠点分のカメラ映像の受信を開始。

VRソフトウェアの映像受信情報を表示し、参加拠点からの受信映像更新レートの表示データをそれぞれ読み取り、記録する。

以上の手順で、拠点数を2, 3, 4と増加させた場合について、手順 項から 項の測定を繰り返す

(6) スループット変動とリアルタイム性

(5) 項と同様の実験構成で、実写映像の送信と3次元VRの実行を行う。

なお、実証実験の参加拠点数は4校とする。

集線装置を1Gbpsのものと100Mbpsのものを交換し、ネットワークの速度を変化させることによって、ネットワークシステムのスループットを変動させる。その際、受信した実写映像の更新レートを記録し、リアルタイム性について評価する。

参加拠点ごとに、映像送信装置上で映像送信サーバを起動し、他拠点に対して実写映像を配信する。各拠点の映像制御装置および映像生成装置で実行するVRソフトウェアにより、配信された実写映像を受信し、表示させる。

【実験手順】

(映像配信手順)

立体視カメラを映像送信装置に接続。

映像送信装置の映像送信ソフトウェアを、表4-1-3の設定にて起動する。

表 4-1-3 送信サーバの設定

送信データサイズ	30 Kbyte
データ圧縮係数 (画像データサイズ)	75 (10 ~ 20 Kbyte)
送信周波数	5 フレーム/sec
マルチキャストアドレス	ff05::1

映像送信ソフトウェアで、送信をIPv6マルチキャストでネットワークオープンする。

(映像受信手順)

VRソフトウェアを起動。

VRソフトウェアで4拠点の映像送信サーバを指定して、配信される4拠点分のカメラ映像の受信を開始。

VRソフトウェアの映像受信情報を表示し、4拠点からの受信映像更新レートの表示データをそれぞれ読み取り、記録する。

以上の手順について、集線装置を1Gbpsのものと100Mbpsのものを交換して、それぞれの場合に測定を実施する。

(7) リアルタイム性の変動と被験者のストレス

実験(4)項、(5)項のモニター映像を、被験者に観察させ、観察結果に基づいて、リアルタイム性が変動した時に感じるストレスについてアンケートを実施し、その結果を集計する。

参加拠点ごとに、映像送信装置上で映像送信サーバを起動し、他拠点に実写映像を配信する。映像制御装置および映像生成装置で実行する VR ソフトウェアにより、拠点間で相互に実写映像を受信する。各拠点の被験者には、そのモニター映像を見てもらう。

【実験手順】

(映像配信手順)

立体視カメラを映像送信装置に接続。

映像送信装置の映像送信ソフトウェアを、表 4-1-4 の設定で起動する。

表 4-1-4 送信サーバの設定

送信データサイズ	30 Kbyte
データ圧縮係数 (画像データサイズ)	75 (10 ~ 20 Kbyte)
送信周波数	5 フレーム/sec
マルチキャストアドレス	ff05::1

映像送信ソフトウェアで、送信を IPv6 マルチキャストでネットワークオープンする。

(映像受信手順)

VR ソフトウェアを起動。

VR ソフトウェアで参加拠点の映像送信サーバを指定して、配信される参加拠点分のカメラ映像の受信を開始。

VR ソフトウェアの受信映像を被験者に観察させる。

観察終了後に、被験者に予め用意したアンケートを配布。

以上の 項から 項の手順で、前述の(4)項、(5)項における実証実験を実施する。

なお、実証実験終了後、アンケートを回収し集計を行う。

本実証実験におけるアンケートの設問項目を以下に示す。

参加学校数を 2 校、3 校、4 校と増やしていった時、遠隔地の実写画像の見え方に変化を感じましたか？

1. 画像の更新が遅くなった
2. 画像の更新が早くなった
3. 変わらない
4. その他 ()

前問で、「3 . 変わらない」以外を選んだ方のみ、お答えください。
見え方の変化によって、ストレスを感じましたか？

1. 感じない
2. 少し感じる
3. 大いに感じる

ネットワーク速度を 1GB から 100MB に変化させた時、遠隔地の実写画像の見え方に変化を感じましたか？

1. 画像の更新が遅くなった
2. 画像の更新が早くなった
3. 変わらない
4. その他 ()

前問で、「3 . 変わらない」以外を選んだ方のみ、お答えください。
見え方の変化によって、ストレスを感じましたか？

1. 感じない
2. 少し感じる
3. 大いに感じる

その他、気づいた点がありましたら、お教えください

(8) 3D 操作デバイスイベントの遅延

3D 操作デバイス (WizRod) を使ったオペレーションのうち、操作の瞬間を確認し易いイベントを使って遅延時間を測定する。

時間測定に適したイベントとして、3D 操作デバイスのバーチャルペンシル機能を用いる。

ある拠点の操作者が、バーチャルペンシルを用いて 3 次元空間に任意の線の描画・消去を実施して、任意の線が消去した時点をイベント発生時刻とする。また、このイベントが、他拠点の観察者に確認されるまでの時間差を計測する。

【実験手順】

3D 操作デバイス操作拠点は、白根巨摩中学校とする。

観察拠点は、他 3 拠点とする。

(3D 操作デバイス操作拠点側：白根巨摩中学校)

3D 操作デバイスのハードウェアを使用可能にする。

3D 操作デバイス設定済みの VR コンテンツを選択し、VR ソフトウェアを起動。

(観察拠点側：他 3 校)

項と同じ VR コンテンツを選択し、VR ソフトウェアを起動。

ストップウォッチを用意。

(3D 操作デバイス操作拠点側)

3D 操作デバイスのバーチャルペンシル機能を用いて、3 次元 VR 空間中に任意の線を描画・消去する。(図 4-1-9、図 4-1-10)

(観察拠点側：他 3 校)

操作者が描画・消去した線が観察拠点側の共有 3 次元 VR 空間で、見えることを確認する。

以上の準備が出来たら、測定を開始する。

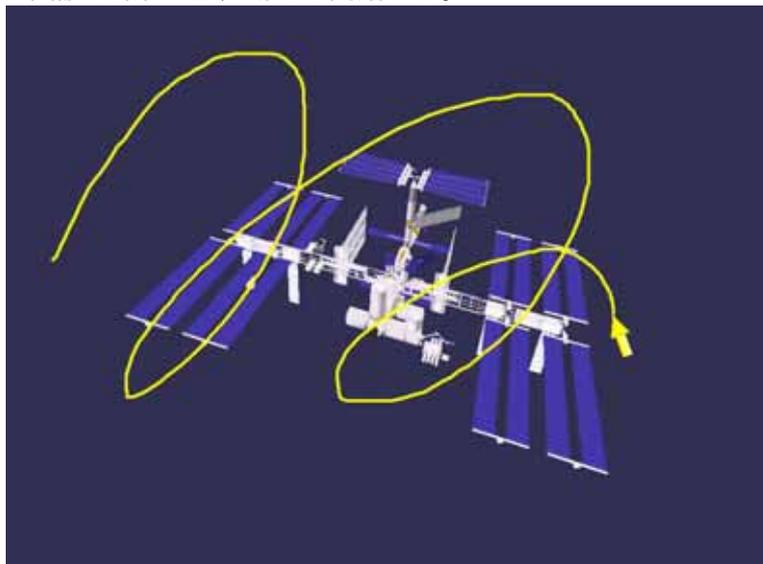


図 4-1-9 バーチャルペンシルによる書込み画面

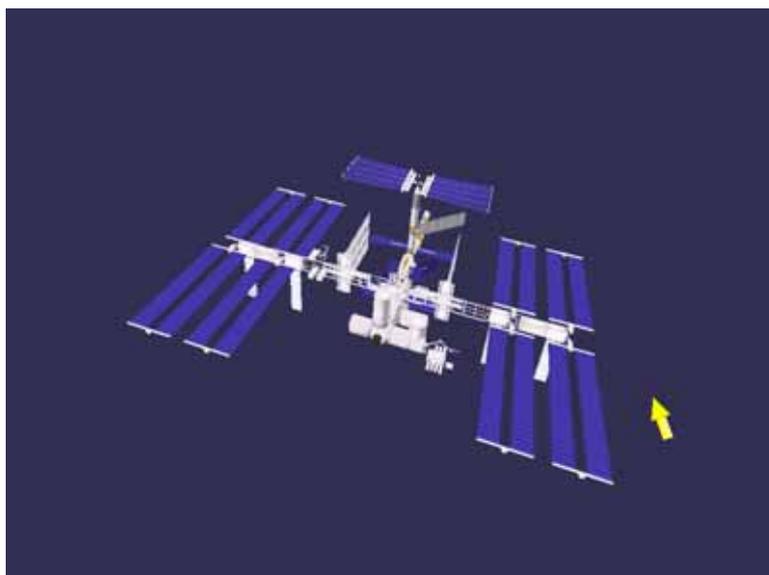


図 4-1-10 バーチャルペンシルによる書込み消去時

(操作拠点側：白根巨摩中学校)

観察拠点毎に観察者と携帯電話で通話を行う。

3D 操作デバイスのバーチャルペンシル機能を用いて、3次元空間中に任意の線を描画して、待機する。

(観察拠点側：他3校)

観察者は、描画された線を確認したら、操作者に対して通知するとともに手元のストップウォッチをスタートする。

(操作拠点側：白根巨摩中学校)

操作者は、受信側実験者側からの通知により描画線を消去する。

(観察拠点側：他3校)

観察者は、描画線が消えたのを確認すると同時に、ストップウォッチをストップし、測定時間を記録する。

以上の実験手順の 項から 項について、観察拠点毎に 10 回繰り返す。

(9) 3D 操作デバイスイベントの遅延が被験者に与える影響

1つの拠点で、3D 操作デバイス（WizRod）を使ったオペレーションのうち、ウォークスルー機能、バーチャルペンシル機能进行操作させ、他の3拠点を観察拠点として、操作イベントを観察させる。
その後、操作した意図が他拠点の被験者に円滑に伝わったか、操作者と観察者に対してアンケートを実施し、集計する。

【実験手順】

（3D 操作デバイス操作拠点の準備手順）

3D 操作デバイスのハードウェアを使用可能な状態にする。

3D 操作デバイス設定済みの VR コンテンツを選択し、VR ソフトウェアを起動。

音送受信モジュール（ソフトウェア）を起動し、他拠点と通話可能な状態にする。

（観察拠点の準備手順）

と同じ VR コンテンツを選択し、VR ソフトウェアを起動。

音送受信モジュール（ソフトウェア）を起動し、他拠点と通話可能な状態にする。

（実験条件）

3D 操作デバイス操作拠点は、白根巨摩中学校とし、観察拠点は他3校とする。

（操作拠点の実験手順：白根巨摩中学校）

操作者は、3D 操作デバイスのバーチャルペンシル機能を用いて、3次元空間中に「任意の線を描画・消去する」、「特定部分を指し示す」、「ウォークスルー機能で視点位置を回転・移動する」、等の操作を行う。（図 4-1-11、図 4-1-12）

1つの操作を実行する毎に、操作者が意図したイベントが、意図したタイミングで、観察拠点の共有3次元空間で認識されているかどうかを確認する。

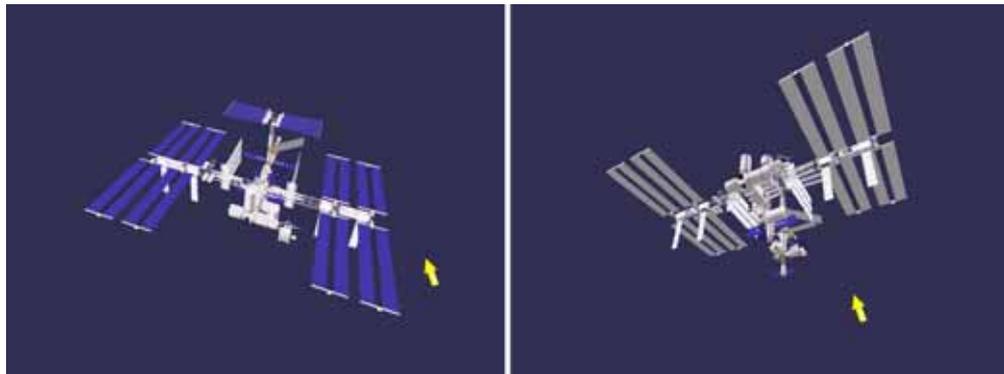


図 4-1-11 3D 操作デバイスによる視点移動

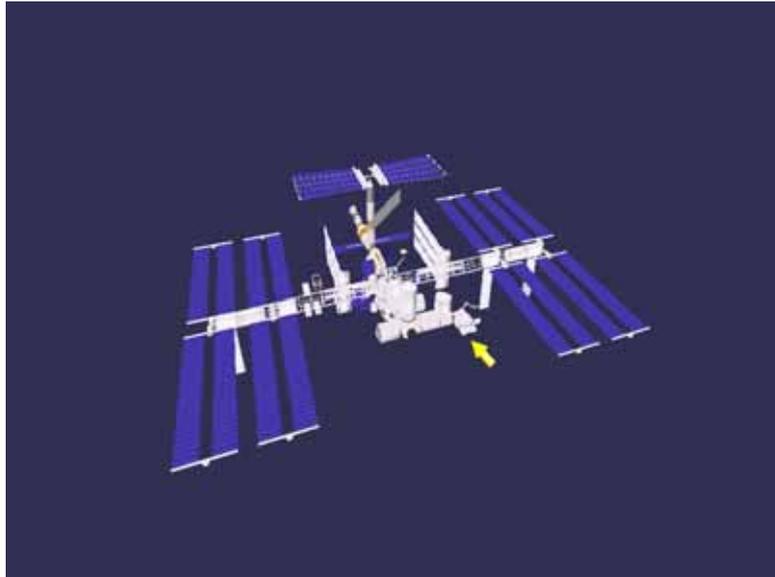


図 4-1-12 3D ポインタで特定部分を指し示す

(観察拠点の実験手順)

観察者は、モニター映像を観察し、操作イベントが操作者の意図したタイミング認識できたかどうかの問い合わせに答える。

(実験終了後)

十分な体験観察が完了した時点を実験終了とし、操作者および観察者に対して、予め用意したアンケートを実施し、集計を行う。

本実証実験におけるアンケートの設問項目を以下に示す。

3D 操作デバイスの操作者がある物体を指している時に、3D ポインタがどの物体を指しているのかわかりましたか？

1. 正確に分かった（観察者） / 正確に伝わった（操作者）
2. だいたい分かった（観察者） / だいたい伝わった（操作者）
3. 分からなかった（観察者） / 伝わらなかった（操作者）

3D 操作デバイスの操作者が視点を移動・回転させた時に、操作者の意図した視点から見えましたか？

1. 見えた（観察者） / 見てもらえた（操作者）
2. 違う位置から見ているようだ（観察者） / 違う位置から見ているようだ（操作者）
3. どこから見てるのかわからなかった（観察者） / どこから見ているのかわからないようだ（操作者）

3D 操作デバイスの操作者がバーチャルペンシル機能で線や文字を描画した時に、描かれた線がわかりましたか？

1. 正確に分かった（観察者） / 正確に伝わった（操作者）
2. だいたい分かった（観察者） / だいたい伝わった（操作者）
3. 分からなかった（観察者） / 伝わらなかった（操作者）

その他、気づいた点がありましたら、お教えください

1.3 実験実施環境

(1) 配信映像の遅延

実験実施場所

映像送信・受信実施拠点

- ・ 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

映像受信のみ実施拠点

- ・ 山梨大学附属小学校 プレイルーム
- ・ 山梨県白根巨摩中学校 美術室
- ・ 岐阜県大垣市立北小学校 コンピュータルーム
- ・ 岐阜県大垣市立北中学校 LL教室

実験実施環境構成

1.2 項(1)項の実験を実施したネットワーク環境の構成を図 4-1-13 に示す。

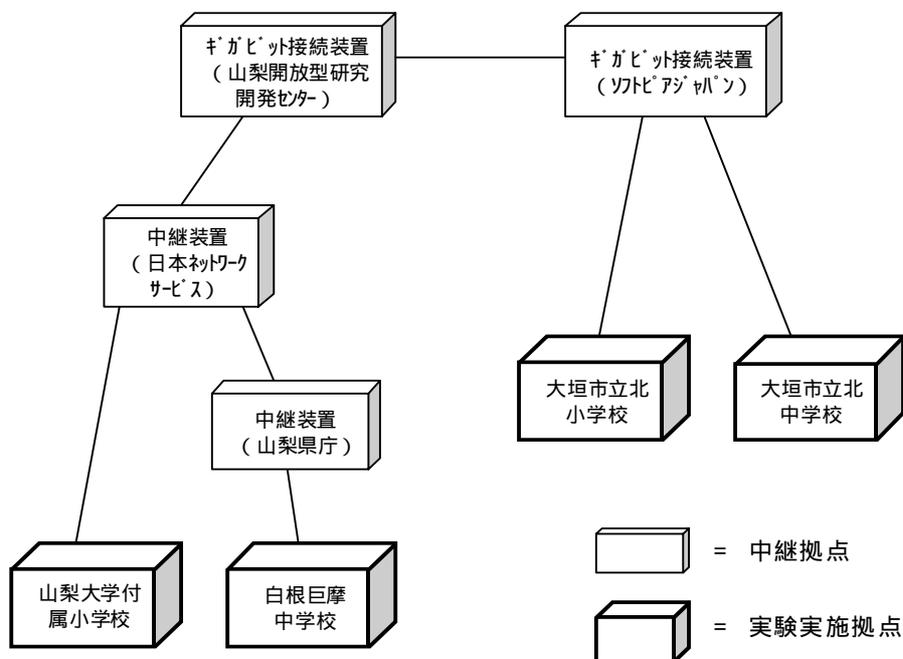


図 4-1-13 映像配信実験実施ネットワーク環境構成図

ネットワーク上の画像データの流れを図 4-1-14 に示す。実写映像配信拠点は、白根巨摩中学校と大垣市立北中学校である。

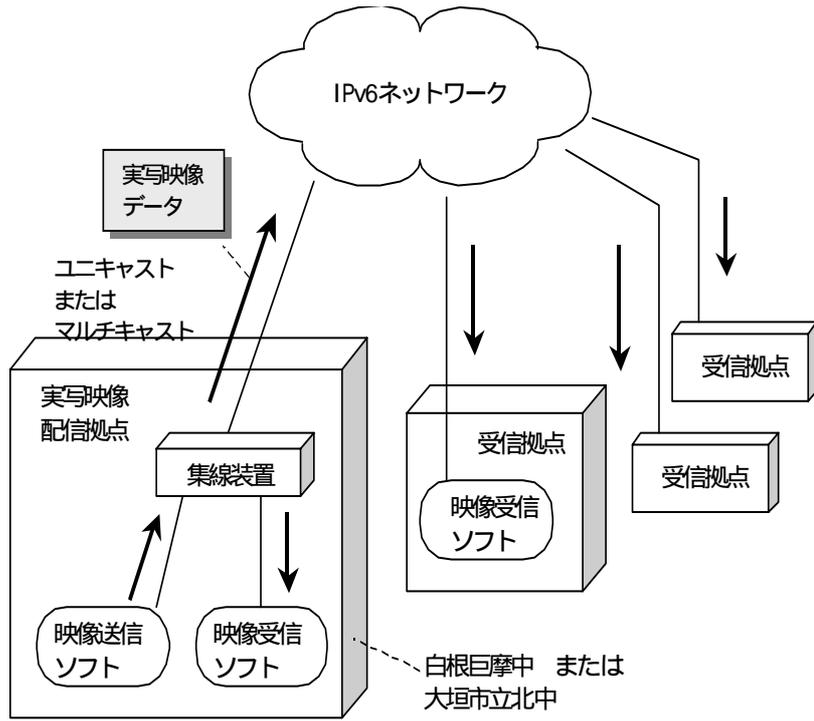


図 4-1-14 映像配信実験のデータの流れ

配信拠点の詳細構成を図 4-1-15 に示す。

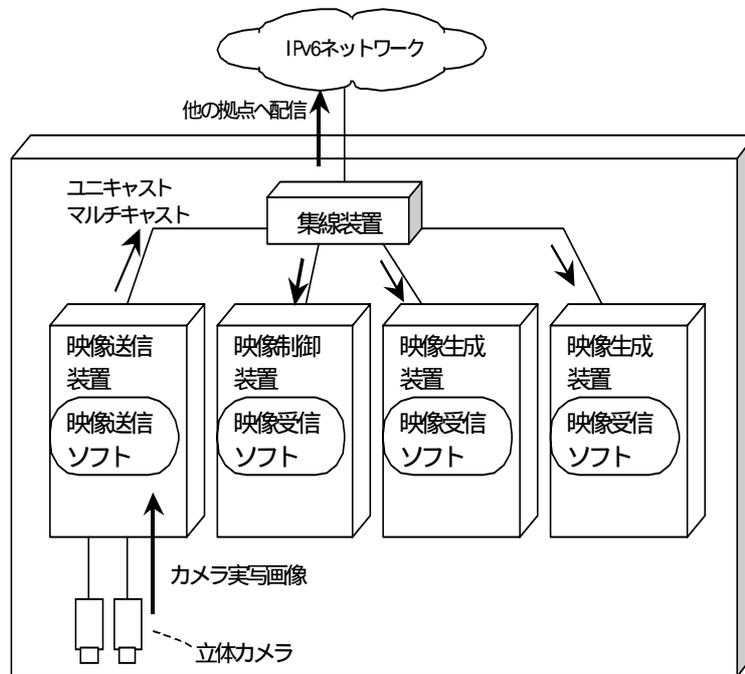


図 4-1-15 映像配信拠点の詳細

時間計測用機材

1.2 項(1)項の手順で使用する計時用ストップウォッチは以下の性能を有する。

- ・ 1/100 秒まで計測可能

計時用ストップウォッチの外観を写真 4-1-1 に示す。



写真 4-1-1 計時用ストップウォッチ外観

(2) 映像配信時のルータの負荷

実験実施場所

映像配信・受信 実施拠点

- ・ 山梨大学附属小学校 プレイルーム
- ・ 山梨県白根巨摩中学校 美術室
- ・ 岐阜県大垣市立北小学校 コンピュータルーム
- ・ 岐阜県大垣市立北中学校 LL 教室

ルータ負荷測定 実施拠点

- ・ 山梨大学附属小学校 プレイルーム
- ・ 山梨県白根巨摩中学校 美術室
- ・ 岐阜県大垣市立北小学校 コンピュータルーム
- ・ 岐阜県大垣市立北中学校 LL 教室
- ・ 山梨開放型研究開発センター

実験実施環境構成

1.2 項(2)項の実験を実施したネットワーク環境および映像配信のデータの流れを図 4-1-16 に示す。

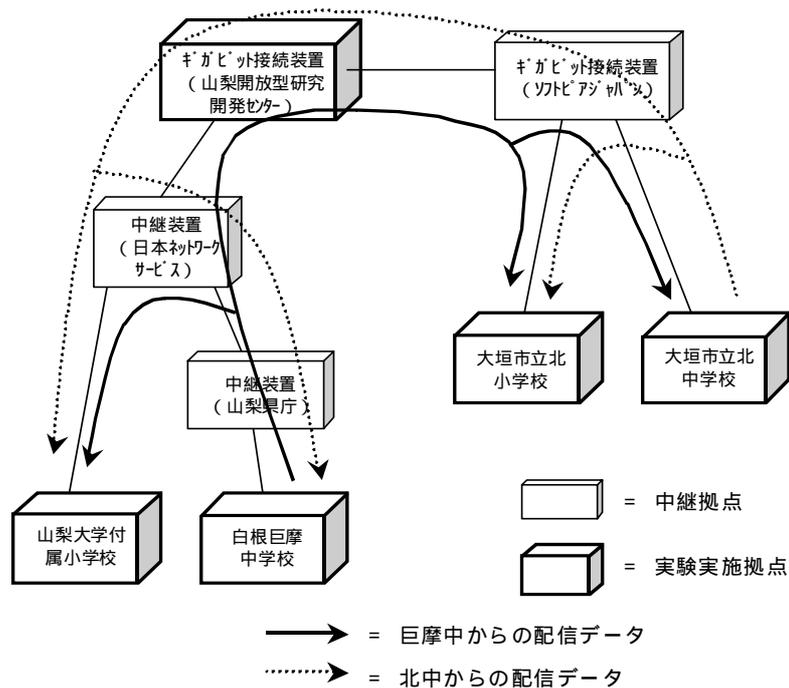


図 4-1-16 ルータ負荷測定 実施ネットワーク環境とデータの流れ

(3) 映像配信時の送信サーバの負荷

実験実施場所

映像配信・受信 実施拠点

- ・ 山梨大学附属小学校 プレイルーム
- ・ 山梨県白根巨摩中学校 美術室
- ・ 岐阜県大垣市立北小学校 コンピュータルーム
- ・ 岐阜県大垣市立北中学校 LL教室
- ・

送信サーバ負荷測定 実施拠点

- ・ 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

実験実施環境構成

1.2 項(3)項の実験を実施したネットワーク環境および映像配信のデータの流れを図 4-1-17 に示す。

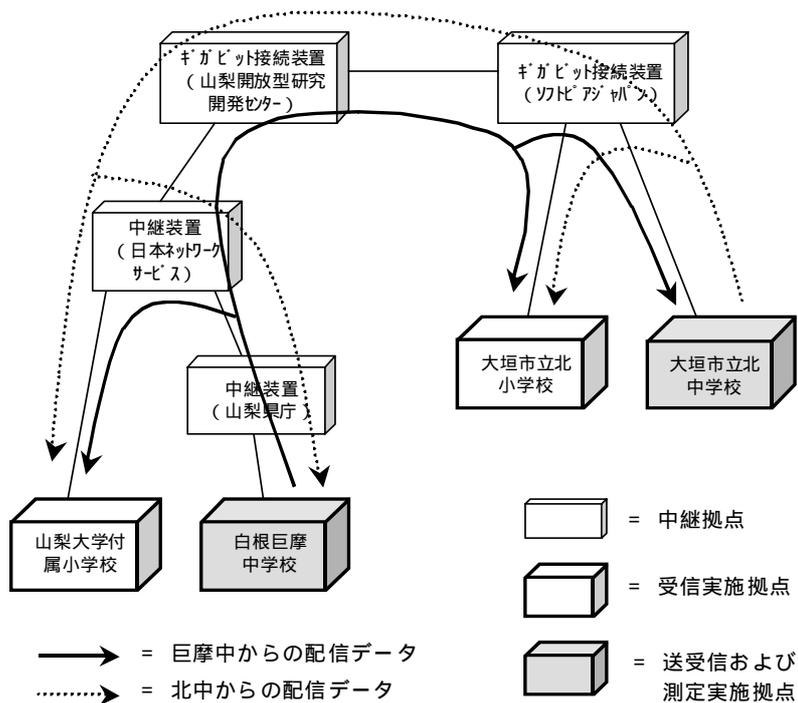


図 4-1-17 送信サーバ負荷測定 実施ネットワーク環境とデータの流れ

配信および測定実施拠点の詳細構成を図 4-1-18 に示す。

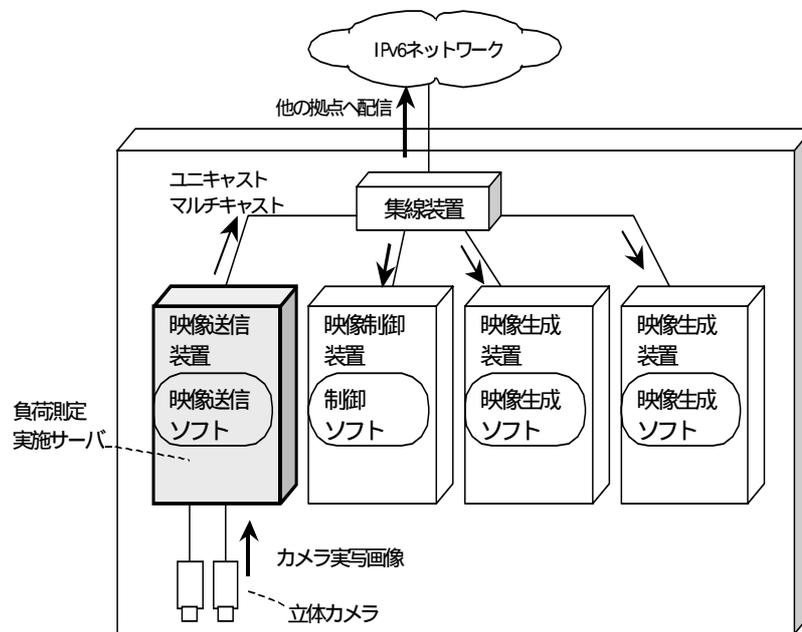


図 4-1-18 映像配信および測定拠点の詳細

(4) パケットロス量と立体映像品質の相関

実験実施場所

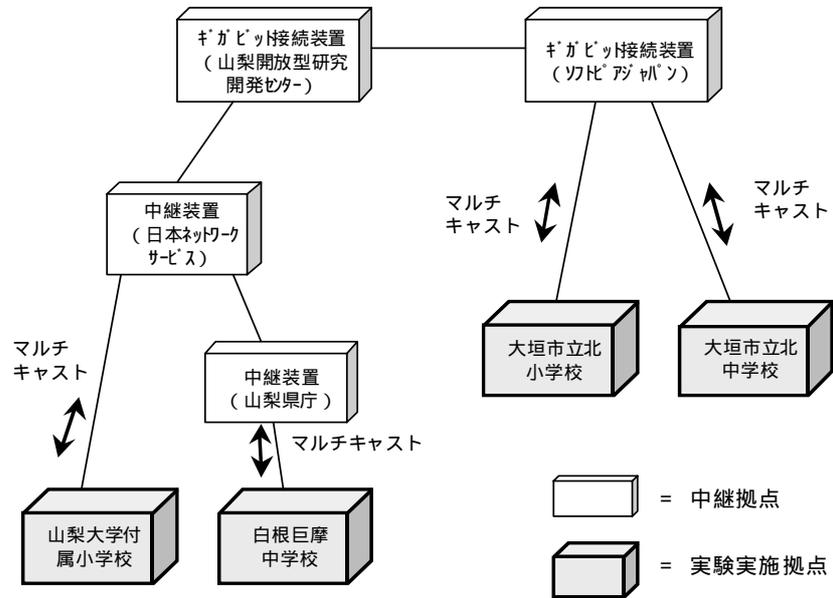
映像配信・受信および測定実施拠点

- ・ 山梨大学附属小学校 プレイルーム

- ・ 山梨県白根巨摩中学校 美術室
- ・ 岐阜県大垣市立北小学校 コンピュータールーム
- ・ 岐阜県大垣市立北中学校 LL教室

実験実施環境構成

1.2 項(4)項の実験を実施したネットワーク環境の構成を図 4-1-19 に示す。



(5) トラフィック変動とリアルタイム性

実験実施場所

映像配信・受信および測定実施拠点

【4 拠点実験に参加】

- ・ 山梨大学附属小学校 プレイルーム
- ・ 山梨県白根巨摩中学校 美術室
- ・ 岐阜県大垣市立北小学校 コンピュータールーム
- ・ 岐阜県大垣市立北中学校 LL教室

【3 拠点実験に参加】

- ・ 山梨大学附属小学校 プレイルーム
- ・ 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

【2 拠点実験に参加】

- ・ 山梨大学附属小学校 プレイルーム
- ・ 山梨県白根巨摩中学校 美術室

実験実施環境構成

1.2 項(5) 項の実験に参加した実施拠点の構成を図 4-1-20 に示す。

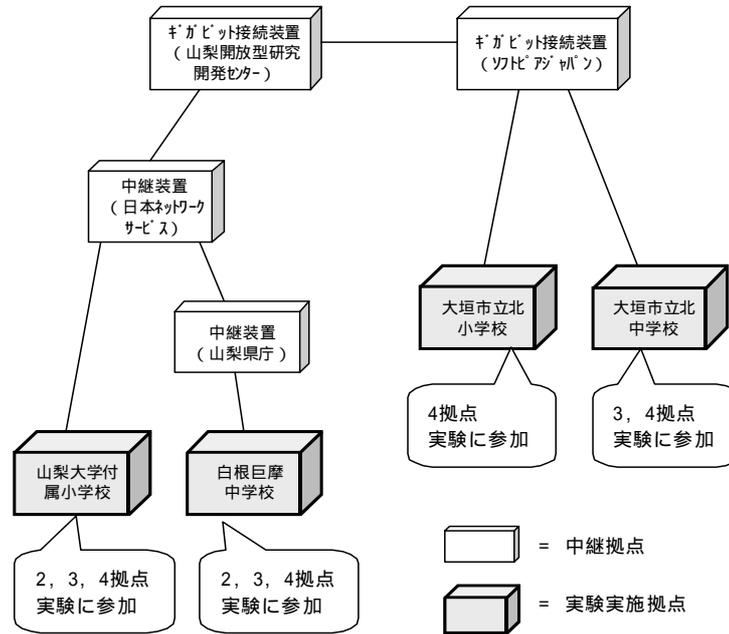


図 4-1-20 実験に参加した実施拠点の構成

(6) スループット変動とリアルタイム性

実験実施場所

映像配信・受信および測定実施拠点

- ・ 山梨大学附属小学校 プレイルーム
- ・ 山梨県白根巨摩中学校 美術室
- ・ 岐阜県大垣市立北小学校 コンピュータルーム
- ・ 岐阜県大垣市立北中学校 LL 教室

実験実施環境構成

1.2 項(6) 項の実験を実施したネットワーク環境の構成を図 4-1-21 に示す。

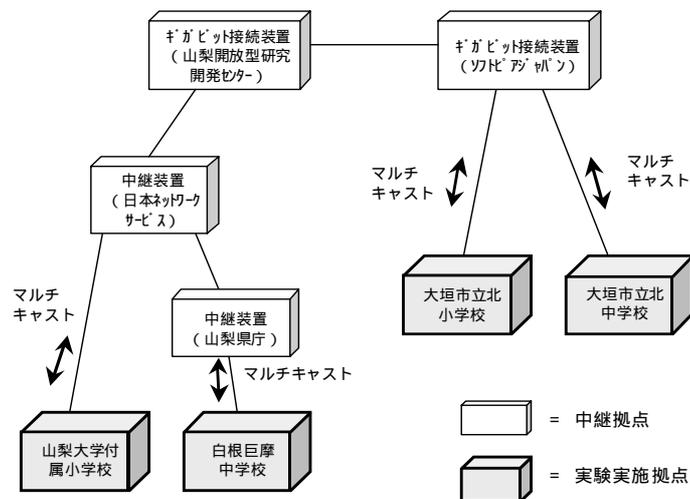


図 4-1-21 実験実施拠点の構成

1.2 項(6)項の手順で交換する集線装置を図 4-1-22 に示す。

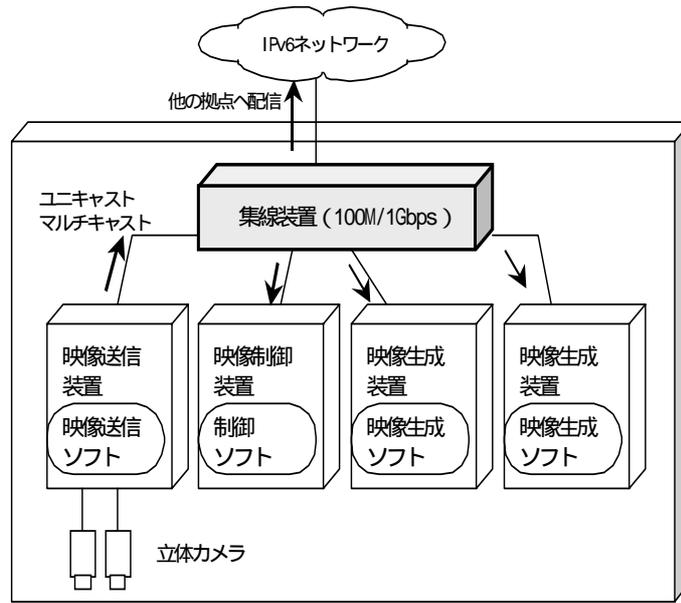


図 4-1-22 実験拠点の集線装置

(7) リアルタイム性の変動と被験者のストレス

実験実施場所

映像配信・受信および被験者の観察実施拠点

- ・ 山梨大学附属小学校 プレイルーム
- ・ 山梨県白根巨摩中学校 美術室
- ・ 岐阜県大垣市立北小学校 コンピュータールーム
- ・ 岐阜県大垣市立北中学校 LL教室

実験実施環境構成

1.2 項(7)項における実験の被験者の配置を図 4-1-23 に示す。

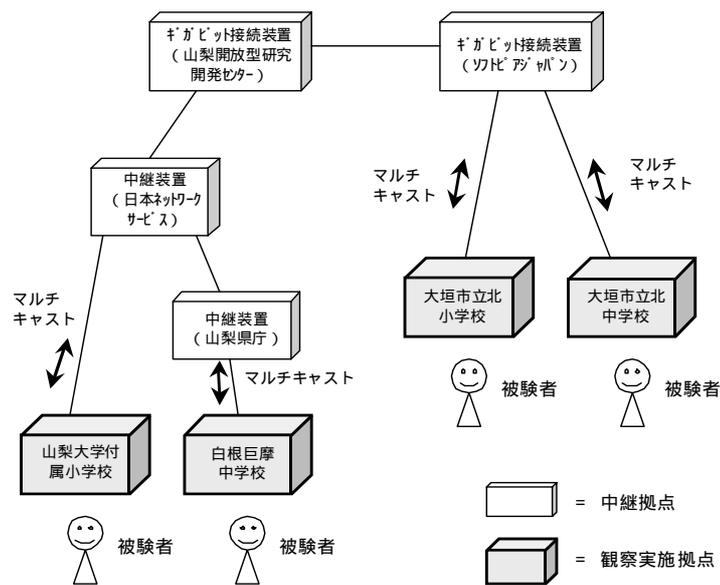


図 4-1-23 被験者の配置

(8) 3D 操作デバイスイベントの遅延

実験実施場所

3D 操作デバイスの操作実施拠点

- ・ 山梨県白根巨摩中学校 美術室

測定実施拠点

- ・ 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
- ・ 岐阜県大垣市立北中学校 LL 教室

実験実施環境構成

1.2 項(8)項の実験を実施したネットワーク上の拠点構成を図 4-1-24 に示す。

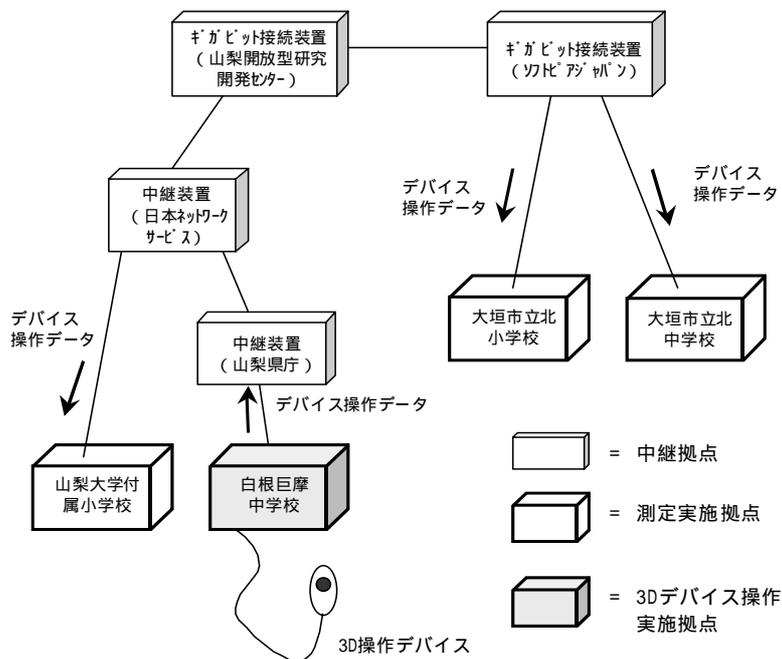


図 4-1-24 実験実施拠点の構成

3D 操作デバイスの外観を写真 4-1-2 に示す。



写真 4-1-2 3D 操作デバイス (WizRod)

操作実施拠点における 3D 操作デバイスの配置を図 4-1-25 に示す。

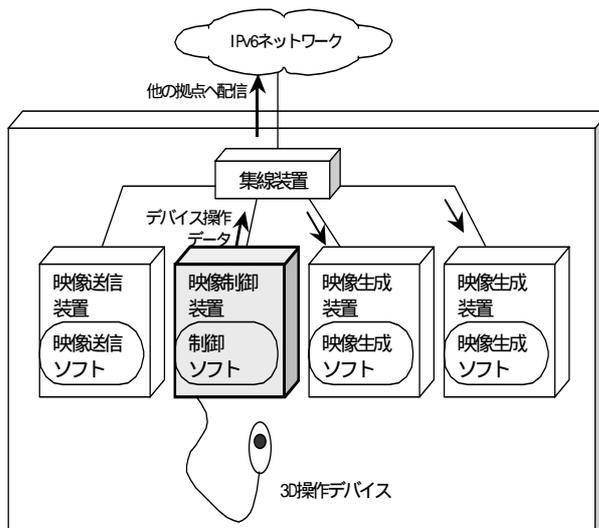


図 4-1-25 3D 操作デバイスの配置

測定拠点におけるデータの流をを図 4-1-26 に示す。

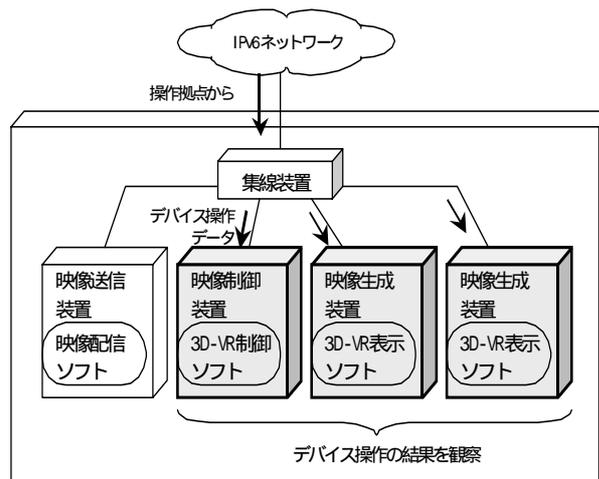


図 4-1-26 測定拠点のデータの流

(9) 3D 操作デバイスイベントの遅延が被験者に与える影響

実験実施場所

3D 操作デバイスの操作実施拠点

- ・ 山梨県白根巨摩中学校 美術室

観察実施拠点

- ・ 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
- ・ 岐阜県大垣市立北中学校 LL 教室

実験実施環境構成

1.2項(9)項における実験の被験者の配置を図4-1-27に示す。

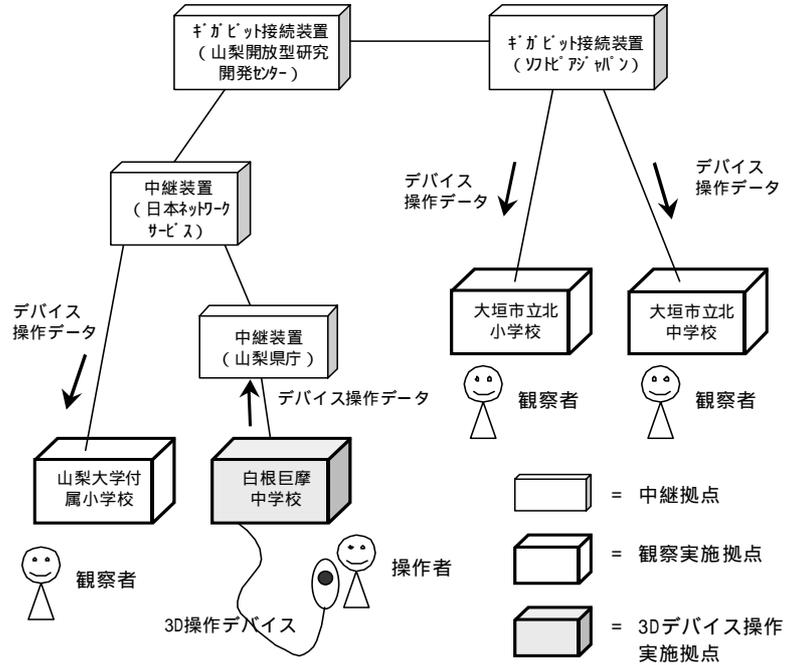


図4-1-27 実験被験者の配置

1.4 実験実施結果

(1) 配信映像の遅延

ユニキャストの場合

ア. ケース1

- ・ 送信拠点：白根巨摩中学校
- ・ 映像送信装置：shirane-sv4
- ・ 映像送信ソフトウェア：CamSvr_10k.exe
- ・ 送信レート：15 フレーム/sec
- ・ 送信パケットサイズ：10Kbyte
- ・ 送信画像データ圧縮係数：25 JPEG サイズ：約 8Kbyte
- ・ 受信拠点：白根巨摩中学校、山梨大学附属小学校、大垣市立北中学校、大垣市立北小学校
- ・ 測定拠点：山梨大学附属小学校、大垣市立北中学校、大垣市立北小学校
- ・ 映像受信ソフトウェア：CamCl t_10k.exe
- ・ 受信装置：各拠点の映像制御装置

【実験結果】

- ・ 実施日時：2003.02.19 15:05～15:25
- ・ 映像配信遅延時間(sec)の測定結果を表 4-1-5 に示す。

表 4-1-5 ユニキャストで白根巨摩中学校から配信

配信元		白根巨摩中学校			3校平均
受信拠点		大垣市立北中学校	大垣市立北小学校	山梨大学附属小学校	
計測時間 [sec]	1[回]	0.53	0.59	0.47	
	2	0.69	0.72	0.59	
	3	0.65	0.59	0.49	
	4	0.60	0.69	0.50	
	5	0.65	0.75	0.47	
	6	0.69	0.72	0.53	
	7	0.69	0.72	0.44	
	8	0.72	0.72	0.34	
	9	0.63	0.75	0.56	
	10	0.60	0.62	0.47	
	平均	0.65	0.69	0.49	0.61

備考：大垣市立北中学校のみ、受信映像に 5sec あたり 1,2sec 程度の映像更新遅延が見られた。

イ. ケース2

- ・ 送信拠点：大垣市立北中学校
- ・ 映像送信装置：ki tachu-sv4
- ・ 映像送信ソフトウェア：CamSvr_10k.exe
- ・ 送信レート：15 フレーム/sec
- ・ 送信パケットサイズ：10Kbyte
- ・ 送信画像データ圧縮係数：25 JPEG サイズ：約 8Kbyte
- ・ 受信拠点：白根巨摩中学校、山梨大学附属小学校、大垣市立北中学校、大垣市立北小学校
- ・ 測定拠点：山梨大学附属小学校、大垣市立北小学校、白根巨摩中学校
- ・ 映像受信ソフトウェア：CamCl t_10k.exe
- ・ 受信装置：各拠点の映像制御装置

【実験結果】

- ・ 実施日時：2003.02.19 17:17～17:40
- ・ 映像配信遅延時間(sec)の測定結果を表 4-1-6 に示す。

表 4-1-6 ユニキャストで大垣市立北中学校から配信

配信元		大垣市立北中学校			3校平均
受信拠点		山梨大学付 属小学校	大垣市立北 小学校	白根巨摩中 学校	
計測時間 [sec]	1[回]	0.53	0.59	0.75	
	2	0.69	0.72	0.60	
	3	0.65	0.59	0.78	
	4	0.60	0.69	0.59	
	5	0.65	0.75	0.60	
	6	0.69	0.72	0.56	
	7	0.69	0.72	0.78	
	8	0.72	0.72	0.66	
	9	0.63	0.75	0.69	
	10	0.60	0.62	0.60	
	平均	0.65	0.69	0.66	0.66

備考：受信側3校とも、受信映像に映像更新遅延は見られない。

マルチキャストの場合

ア. ケース3

- ・ 送信拠点：白根巨摩中学校
- ・ 映像送信装置：shirane-sv4
- ・ 映像送信ソフトウェア：CamSvr_10k.exe
- ・ 送信レート：15 フレーム/sec
- ・ 送信パケットサイズ：10Kbyte
- ・ 送信画像データ圧縮係数：25 JPEG サイズ：約 8Kbyte
- ・ 受信拠点：白根巨摩中学校、山梨大学附属小学校、大垣市立北中学校、大垣市立北小学校
- ・ 測定拠点：山梨大学附属小学校、大垣市立北中学校、大垣市立北小学校
- ・ 映像受信ソフトウェア：CamCl t_10k.exe
- ・ 受信装置：各拠点の映像制御装置

【実験結果】

- ・ 実施日時：2003.02.19 15:30～15:50
- ・ 映像配信遅延時間(sec)の測定結果を表 4-1-7 に示す。

表 4-1-7 マルチキャストで白根巨摩中学校から配信

配信元		白根巨摩中学校			3校平均
受信拠点		大垣市立北中 学校	大垣市立北小 学校	山梨大学付属 小学校	
計測時間 [sec]	1[回]	0.66	0.44	0.34	
	2	0.72	0.47	0.44	
	3	0.62	0.56	0.44	
	4	0.71	0.53	0.40	
	5	0.62	0.56	0.35	
	6	0.66	0.56	0.47	
	7	0.66	0.50	0.40	
	8	0.63	0.59	0.34	
	9	0.53	0.59	0.44	
	10	0.59	0.50	0.31	
	平均	0.64	0.53	0.39	0.52

備考：大垣市立北中学校のみ、受信映像に2～3分あたり1,2sec程度の映像更新遅延が見られた。

1. ケース4

- ・ 送信拠点：大垣市立北中学校
- ・ 映像送信装置：kitachu-sv4
- ・ 映像送信ソフトウェア：CamSvr_10k.exe
- ・ 送信レート：15 フレーム/sec
- ・ 送信パケットサイズ：10Kbyte
- ・ 送信画像データ圧縮係数：25 JPEG サイズ：約 8Kbyte
- ・ 受信拠点：白根巨摩中学校、山梨大学付属小学校、大垣市立北中学校、大垣市立北小学校
- ・ 測定拠点：山梨大学付属小学校、大垣市立北小学校、白根巨摩中学校
- ・ 映像受信ソフトウェア：CamCl t_10k.exe
- ・ 受信装置：各拠点の映像制御装置

【実験結果】

- ・ 実施日時：2003.02.19 17:47～18:18
- ・ 映像配信遅延時間の測定結果を表 4-1-8 に示す。

表 4-1-8 マルチキャストで大垣市立北中学校から配信

配信元		大垣市立北中学校			3校平均
受信拠点		山梨大学付 属小学校	大垣市立北 小学校	白根巨摩中 学校	
計測時間 [sec]	1[回]	0.69	0.56	0.68	
	2	0.72	0.65	0.63	
	3	0.75	0.72	0.68	
	4	0.72	0.72	0.60	
	5	0.85	0.71	0.65	
	6	0.63	0.72	0.60	
	7	0.81	0.72	0.75	
	8	0.68	0.63	0.65	
	9	0.72	0.72	0.66	
	10	0.62	0.65	0.72	
	平均	0.72	0.68	0.66	0.69

備考：受信側3校とも、受信映像に映像更新遅延は見られない。

(2) 映像配信時のルータの負荷

ユニキャストの場合

- ・ 送信拠点：白根巨摩中学校、大垣市立北中学校
- ・ 送信装置：送信 2 拠点の映像送信装置
- ・ 映像送信ソフトウェア：CamSvr_10k.exe
- ・ 送信レート：15 フレーム/sec
- ・ 送信パケットサイズ：10Kbyte
- ・ 送信画像データ圧縮係数：25 JPEG サイズ：約 8Kbyte
- ・ 受信拠点：白根巨摩中学校、山梨大学附属小学校、大垣市立北中学校、大垣市立北小学校
- ・ 測定拠点：白根巨摩中学校、山梨大学附属小学校、大垣市立北中学校、大垣市立北小学校、開放センター
- ・ 映像受信ソフトウェア：CamClt_10k.exe
- ・ 受信装置：各拠点の映像制御装置、映像生成装置

【実験結果】

ルータの負荷率(%) (ユニキャスト) の測定結果を表 4-1-9 から表 4-1-13 に示す。

表 4-1-9 ユニキャストで白根巨摩中学校のルータ負荷率(%)

1. 白根巨摩中学校 ルータ負荷測定結果			
■ユニキャスト 白根巨摩中学校配信SV			
l koma-chu# show cpu main act			
CPU Activity (COM-ACT)			
Data Type	Current[%]	Peak[%]	(Last Read -> Current)
5sec avg.	4	6	(2003/02/19 15:56:15)
1min avg.	3	4	(2003/02/19 15:56:35)
5min avg.	3	3	(2003/02/19 15:56:35)
Last Read Time:	2003/02/19 15:56:14		
Current Time :	2003/02/19 16:14:51		
■ユニキャスト 大垣市立北中学校が配信SV			
l koma-chu# show cpu main act			
CPU Activity (COM-ACT)			
Data Type	Current[%]	Peak[%]	(Last Read -> Current)
5sec avg.	4	5	(2003/02/19 17:15:38)
1min avg.	3	3	(2003/02/19 17:16:33)
5min avg.	3	3	(2003/02/19 17:16:33)
Last Read Time:	2003/02/19 17:15:34		
Current Time :	2003/02/19 17:33:10		
全平均	3.33	4.00	

表 4-1-10 ユニキャストで開放型研究開発センターのルータ負荷率(%)

2. 開放型研究開発センター ルータ負荷測定結果			
■ユニキャスト 白根巨摩中学校配信SV			
2 kaihou# show cpu main act			
CPU Activity (COM-ACT)			
Data Type	Current[%]	Peak[%]	(Last Read -> Current)
5sec avg.	1	3	(2003/02/19 16:02:29)
1min avg.	1	1	(2003/02/19 16:03:24)
5min avg.	1	1	(2003/02/19 16:03:24)
Last Read Time:	2003/02/19 16:02:26		
Current Time :	2003/02/19 16:23:52		
■ユニキャスト 大垣市立北中学校配信SV			
1 kaihou# show cpu main act			
CPU Activity (COM-ACT)			
Data Type	Current[%]	Peak[%]	(Last Read -> Current)
5sec avg.	1	3	(2003/02/19 17:21:07)
1min avg.	1	1	(2003/02/19 17:21:22)
5min avg.	1	1	(2003/02/19 17:21:22)
Last Read Time:	2003/02/19 17:20:45		
Current Time :	2003/02/19 17:38:05		
全平均	1.00	1.67	

表 4-1-11 ユニキャストで山梨大学附属小学校のルータ負荷率(%)

3. 山梨大学附属小学校 ルータ負荷測定結果			
■ユニキャスト 白根巨摩中学校配信SV			
1 fuzoku-syo# show cpu main act			
CPU Activity (COM-ACT)			
Data Type	Current[%]	Peak[%]	(Last Read -> Current)
5sec avg.	4	6	(2003/02/19 15:58:28)
1min avg.	3	3	(2003/02/19 15:58:33)
5min avg.	3	3	(2003/02/19 15:58:33)
Last Read Time:	2003/02/19 15:58:27		
Current Time :	2003/02/19 16:16:44		
■ユニキャスト 大垣市立北中学校配信SV			
1 fuzoku-syo# show cpu main act			
CPU Activity (COM-ACT)			
Data Type	Current[%]	Peak[%]	(Last Read -> Current)
5sec avg.	4	5	(2003/02/19 17:17:00)
1min avg.	3	3	(2003/02/19 17:17:30)
5min avg.	3	3	(2003/02/19 17:17:30)
Last Read Time:	2003/02/19 17:16:58		
Current Time :	2003/02/19 17:35:05		
全平均	3.33	3.83	

表 4-1-12 ユニキャストで大垣市立北中学校のルータ負荷率(%)

4. 大垣市立北中学校 ルータ負荷測定結果			
■ユニキャスト 白根巨摩中学校配信SV			
1 kita-chu# show cpu main act			
CPU Activity (COM-ACT)			
Data Type	Current[%]	Peak[%]	(Last Read -> Current)
5sec avg.	5	6	(2003/02/19 16:01:38)
1min avg.	3	4	(2003/02/19 16:02:13)
5min avg.	3	3	(2003/02/19 16:02:13)
Last Read Time:	2003/02/19 16:01:33		
Current Time :	2003/02/19 16:19:46		
■ユニキャスト 大垣市立北中学校配信SV			
1 kita-chu# show cpu main act			
CPU Activity (COM-ACT)			
Data Type	Current[%]	Peak[%]	(Last Read -> Current)
5sec avg.	5	6	(2003/02/19 17:19:30)
1min avg.	3	4	(2003/02/19 17:20:10)
5min avg.	3	3	(2003/02/19 17:20:10)
Last Read Time:	2003/02/19 17:19:30		
Current Time :	2003/02/19 17:37:01		
全平均	3.67	4.33	

表 4-1-13 ユニキャストで大垣市立北小学校のルータ負荷率(%)

5. 大垣市立北小学校 ルータ負荷測定結果			
■ユニキャスト 白根巨摩中学校配信SV			
1 kita-syo# show cpu main act			
CPU Activity (COM-ACT)			
Data Type	Current[%]	Peak[%]	(Last Read -> Current)
5sec avg.	4	5	(2003/02/19 16:00:07)
1min avg.	3	3	(2003/02/19 16:00:37)
5min avg.	3	3	(2003/02/19 16:00:37)
Last Read Time:	2003/02/19 16:00:03		
Current Time :	2003/02/19 16:18:40		
■ユニキャスト 大垣市立北中学校配信SV			
1 kita-syo# show cpu main act			
CPU Activity (COM-ACT)			
Data Type	Current[%]	Peak[%]	(Last Read -> Current)
5sec avg.	4	5	(2003/02/19 17:18:18)
1min avg.	3	3	(2003/02/19 17:18:33)
5min avg.	3	3	(2003/02/19 17:18:33)
Last Read Time:	2003/02/19 17:18:13		
Current Time :	2003/02/19 17:36:04		
全平均	3.33	3.67	

マルチキャストの場合

- ・ 送信拠点：白根巨摩中学校、大垣市立北中学校
- ・ 送信装置：送信 2 拠点の映像送信装置
- ・ 映像送信ソフトウェア：CamSvr_10k.exe
- ・ 送信レート：15 フレーム/sec
- ・ 送信パケットサイズ：10Kbyte
- ・ 送信画像データ圧縮係数：25 JPEG サイズ：約 8Kbyte
- ・ 受信拠点：白根巨摩中学校、山梨大学附属小学校、大垣市立北中学校、大垣市立北小学校
- ・ 測定拠点：白根巨摩中学校、山梨大学附属小学校、大垣市立北中学校、大垣市立北小学校、開放センター
- ・ 映像受信ソフトウェア：CamCl t_10k.exe
- ・ 受信装置：各拠点の映像制御装置、映像生成装置

【実験結果】

ルータの負荷率(%)(マルチキャスト)の測定結果を表 4-1-14 から表 4-1-17 に示す。

表 4-1-14 マルチキャストで白根巨摩中学校のルータ負荷率(%)

1. 白根巨摩中学校 ルータ負荷測定結果			
■マルチキャスト 巨摩中学校配信SV			
2 koma-chu# show cpu main act			
CPU Activity (COM-ACT)			
Data Type	Current[%]	Peak[%]	(Last Read -> Current)
5sec avg.	4	5	(2003/02/19 16:38:44)
1min avg.	3	3	(2003/02/19 16:39:34)
5min avg.	3	3	(2003/02/19 16:39:34)
Last Read Time:	2003/02/19 16:38:42		
Current Time :	2003/02/19 16:55:30		
■マルチキャスト 大垣市立北中学校配信SV			
1 koma-chu# show cpu main act			
CPU Activity (COM-ACT)			
Data Type	Current[%]	Peak[%]	(Last Read -> Current)
5sec avg.	5	5	(2003/02/19 17:45:27)
1min avg.	3	3	(2003/02/19 17:45:32)
5min avg.	3	3	(2003/02/19 17:45:32)
Last Read Time:	2003/02/19 17:45:25		
Current Time :	2003/02/19 18:05:11		
全平均	3.50	3.67	

表 4-1-15 マルチキャストで開放型研究開発センターのルータ負荷率(%)

2. 開放型研究開発センター ルータ負荷測定結果			
■マルチキャスト 白根巨摩中学校配信SV			
1 kaihou# show cpu main act			
CPU Activity (COM-ACT)			
Data Type	Current[%]	Peak[%]	(Last Read -> Current)
5sec avg.	1	3	(2003/02/19 16:51:08)
1min avg.	1	1	(2003/02/19 16:48:23)
5min avg.	1	1	(2003/02/19 16:48:23)
Last Read Time:	2003/02/19 16:48:16		
Current Time :	2003/02/19 17:02:51		
■マルチキャスト 大垣市立北中学校配信SV			
1 kaihou# show cpu main act			
CPU Activity (COM-ACT)			
Data Type	Current[%]	Peak[%]	(Last Read -> Current)
5sec avg.	3	3	(2003/02/19 17:51:05)
1min avg.	1	1	(2003/02/19 17:50:21)
5min avg.	1	1	(2003/02/19 17:50:21)
Last Read Time:	2003/02/19 17:50:10		
Current Time :	2003/02/19 18:09:06		
全平均	1.33	1.67	

表 4-1-16 マルチキャストで山梨大学附属小学校のルータ負荷率(%)

3. 山梨大学附属小学校 ルータ負荷測定結果			
■マルチキャスト 白根巨摩中学校配信SV			
1 fuzoku-syo# show cpu main act			
CPU Activity (COM-ACT)			
Data Type	Current[%]	Peak[%]	(Last Read -> Current)
5sec avg.	4	6	(2003/02/19 16:57:46)
1min avg.	3	3	(2003/02/19 16:40:31)
5min avg.	3	3	(2003/02/19 16:40:31)
Last Read Time:	2003/02/19 16:40:16		
Current Time :	2003/02/19 16:58:01		
■マルチキャスト 大垣市立北中学校配信SV			
1 fuzoku-syo# show cpu main act			
CPU Activity (COM-ACT)			
Data Type	Current[%]	Peak[%]	(Last Read -> Current)
5sec avg.	5	5	(2003/02/19 17:46:49)
1min avg.	3	3	(2003/02/19 17:47:29)
5min avg.	3	3	(2003/02/19 17:47:29)
Last Read Time:	2003/02/19 17:46:44		
Current Time :	2003/02/19 18:06:04		
全平均	3.50	3.83	

表 4-1-17 マルチキャストで大垣市立北中学校のルータ負荷率(%)

4. 大垣北中学校 ルータ負荷測定結果			
■マルチキャスト 白根巨摩中学校配信SV			
1 kita-chu# show cpu main act			
CPU Activity (COM-ACT)			
Data Type	Current[%]	Peak[%]	(Last Read -> Current)
5sec avg.	5	6	(2003/02/19 16:43:27)
1min avg.	3	4	(2003/02/19 16:44:11)
5min avg.	3	3	(2003/02/19 16:44:11)
Last Read Time:	2003/02/19 16:43:24		
Current Time :	2003/02/19 17:01:06		
■マルチキャスト 大垣市立北中学校配信SV			
1 kita-chu# show cpu main act			
CPU Activity (COM-ACT)			
Data Type	Current[%]	Peak[%]	(Last Read -> Current)
5sec avg.	5	6	(2003/02/19 17:48:48)
1min avg.	4	4	(2003/02/19 17:49:08)
5min avg.	3	3	(2003/02/19 17:49:08)
Last Read Time:	2003/02/19 17:48:47		
Current Time :	2003/02/19 18:08:13		
全平均	3.83	4.33	

表 4-1-18 マルチキャストで大垣市立北小学校のルータ負荷率(%)

5. 大垣市立北小学校 ルータ負荷測定結果			
■マルチキャスト 白根巨摩中学校配信SV			
1 kita-syo# show cpu main act			
CPU Activity (COM-ACT)			
Data Type	Current[%]	Peak[%]	(Last Read -> Current)
5sec avg.	4	6	(2003/02/19 16:41:49)
1min avg.	3	3	(2003/02/19 16:42:34)
5min avg.	3	3	(2003/02/19 16:42:34)
Last Read Time:	2003/02/19 16:41:47		
Current Time :	2003/02/19 17:00:04		
■マルチキャスト 大垣市立北中学校配信SV			
1 kita-syo# show cpu main act			
CPU Activity (COM-ACT)			
Data Type	Current[%]	Peak[%]	(Last Read -> Current)
5sec avg.	4	5	(2003/02/19 17:47:52)
1min avg.	3	3	(2003/02/19 17:48:32)
5min avg.	3	3	(2003/02/19 17:48:32)
Last Read Time:	2003/02/19 17:47:47		
Current Time :	2003/02/19 18:07:21		
全平均	3.33	3.83	

(3) 映像配信時の送信サーバの負荷

ユニキャストの場合

- ・ 送信拠点：白根巨摩中学校、大垣市立北中学校
- ・ 送信装置：送信 2 拠点の映像送信装置
- ・ 映像送信ソフトウェア：CamSvr_10k_slpln.exe
- ・ 送信レート：15 フレーム/sec
- ・ 送信パケットサイズ：10Kbyte
- ・ 送信画像データ圧縮係数：25 JPEG サイズ：約 8Kbyte
- ・ 受信拠点：白根巨摩中学校、山梨大学附属小学校、大垣市立北中学校、大垣市立北小学校
- ・ 測定拠点：白根巨摩中学校、山梨大学附属小学校、大垣市立北中学校、大垣市立北小学校
- ・ 映像受信ソフトウェア：CamClt_10k.exe
- ・ 受信装置：各拠点の映像制御装置、映像生成装置
- ・ 受信レート：12.5～13.1 フレーム/sec

【実験結果】

映像送信サーバ（CPU）負荷率の測定結果を以下に示す。

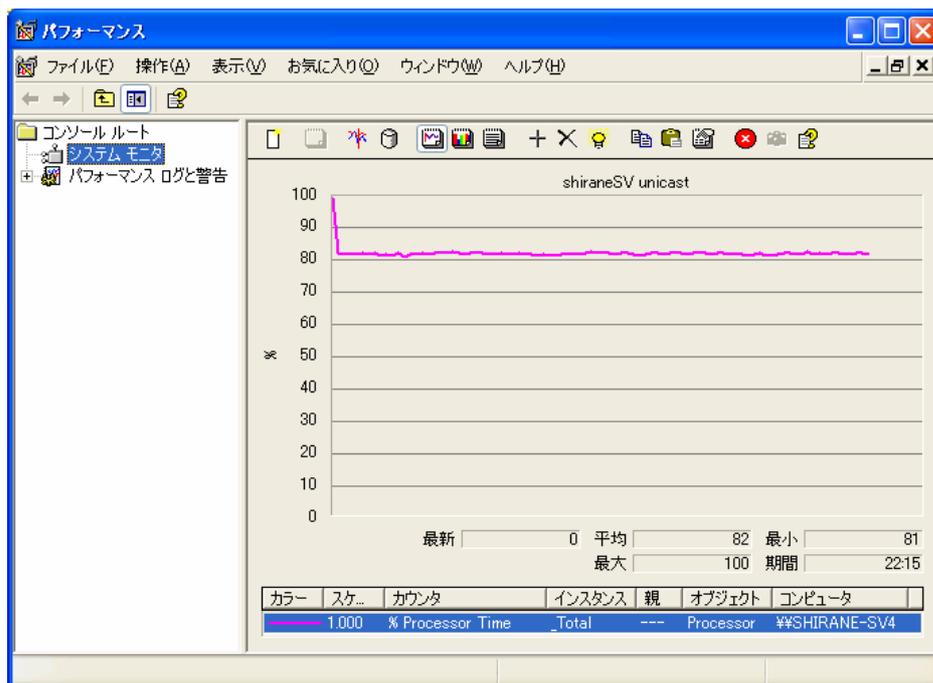


図 4-1-28 ユニキャストで白根巨摩中学校の送信サーバ・パフォーマンスログ

表 4-1-19 ユニキャストで白根巨摩中学校の送信サーバ・負荷率(%)

¥¥SHIRANE-SV4¥¥Processor(_Total)¥¥% Processor Time	
平均	82.19
最小値	81.25
最大値	83.02
開始時刻	02/20/2003 10:43:23.046
終了時刻	02/20/2003 11:05:23.046

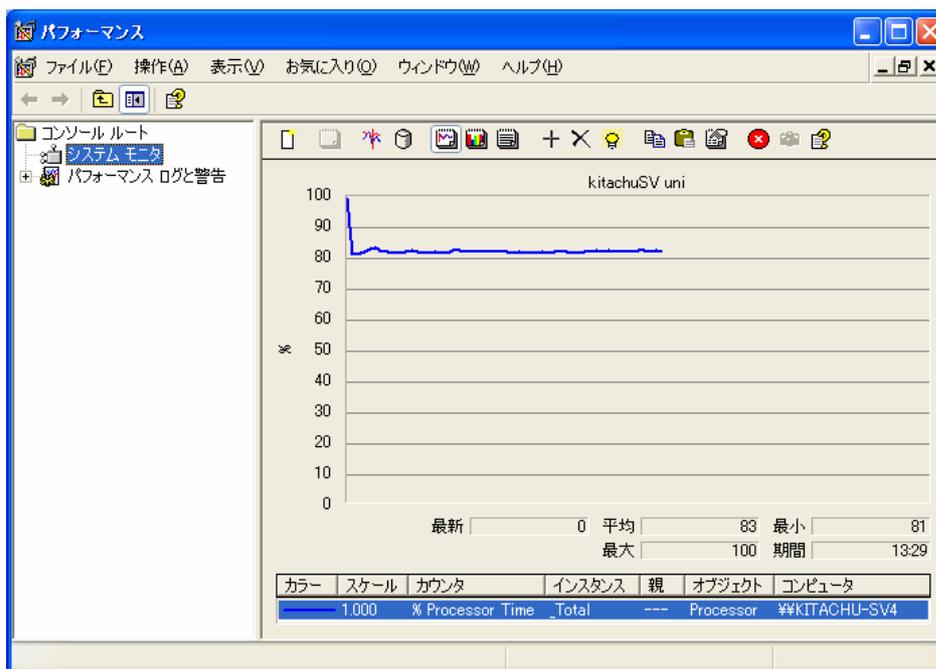


図 4-1-29 ユニキャストで大垣市立北中学校の送信サーバ・パフォーマンスログ

表 4-1-20 ユニキャストで大垣市立北中学校の送信サーバ・負荷率(%)

¥¥KITCHACHU-SV4¥¥Processor(Total)¥% Processor Time	
平均	82.22
最小値	81.25
最大値	83.56
開始時刻	02/20/2003 11:39:16.062
終了時刻	02/20/2003 11:52:31.093

マルチキャストの場合

- ・ 送信拠点：白根巨摩中学校、大垣市立北中学校
- ・ 送信装置：送信 2 拠点の映像送信装置
- ・ 映像送信ソフトウェア：CamSvr_10k_slpIn.exe
- ・ 送信レート：15 フレーム/sec
- ・ 送信パケットサイズ：10Kbyte
- ・ 送信画像データ圧縮係数：25 JPEG サイズ：約 8Kbyte
- ・ 受信拠点：白根巨摩中学校、山梨大学附属小学校、大垣市立北中学校、大垣市立北小学校
- ・ 測定拠点：白根巨摩中学校、山梨大学附属小学校、大垣市立北中学校、大垣市立北小学校
- ・ 映像受信ソフトウェア：CamCl t_10k.exe
- ・ 受信装置：各拠点の映像制御装置、映像生成装置
- ・ 受信レート：12.5～13.1 フレーム/sec

【実験結果】

- ・ 映像送信サーバ(CPU)負荷率の測定結果を以下に示す。

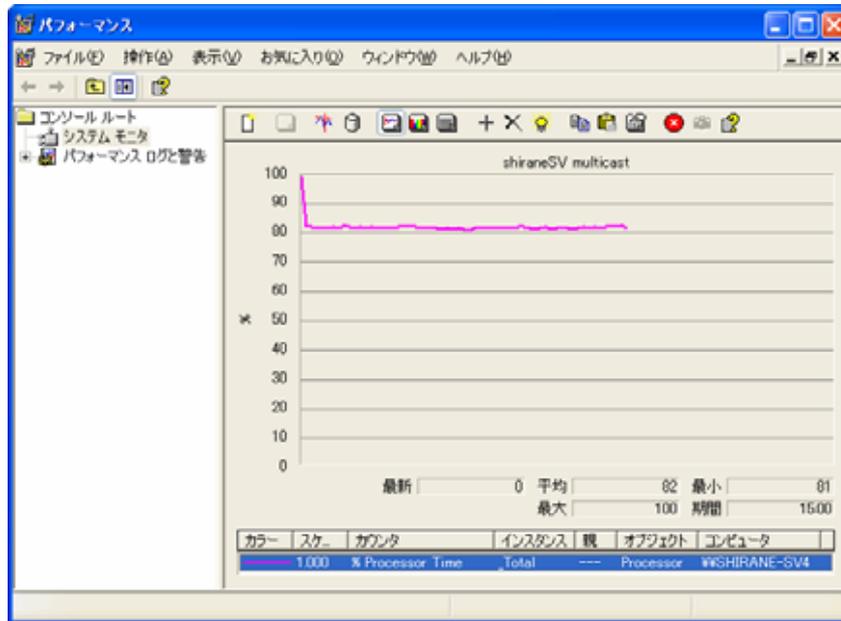


図 4-1-30 マルチキャストで白根巨摩中学校の送信サーバ・パフォーマンスログ

表 4-1-21 マルチキャストで白根巨摩中学校の送信サーバ・負荷率(%)

¥¥SHIRANE-SV¥¥Processor(Total)¥¥ Processor Time	
平均	82.13
最小値	81.25
最大値	82.92
開始時刻	02/20/2003 11:15:47.593
終了時刻	02/20/2003 11:30:32.593

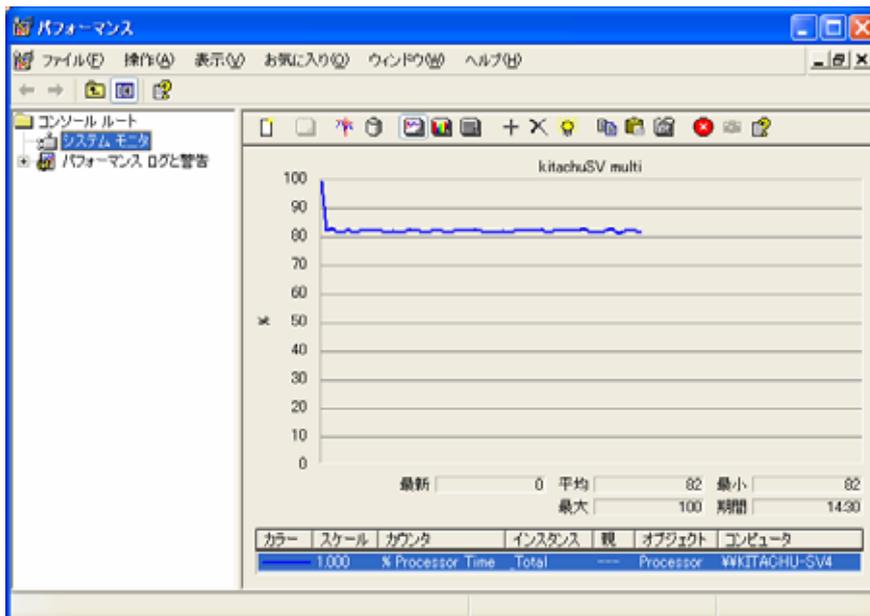


図 4-1-31 マルチキャスト大垣市立北中学校の送信サーバ・パフォーマンスログ

表 4-1-22 マルチキャスト大垣市立北中学校の送信サーバ・負荷率(%)

¥¥KITACHU-SV4¥Processor(Total)¥% Processor Tim	
平均	82.16
最小値	81.56
最大値	82.92
開始時刻	02/20/2003 12:00:34.843
終了時刻	02/20/2003 12:14:49.843

(4) パケットロス量と立体映像品質の相関

1.2 項(4)の条件1 パケットロスはほとんど起こらない場合

- ・ 映像送信ソフトウェア：CamSvr_10k.exe
- ・ 送信レート：5 フレーム/sec
- ・ 送信パケットサイズ：10Kbyte
- ・ 送信画像データ圧縮係数：25 JPEG サイズ：約7～8Kbyte
- ・ 映像受信ソフトウェア：zp_10k.exe
- ・ 実行 VR コンテンツデータ：Nasda11_IPv6_ff05

【実験結果】

ロスカウンタと映像受信レートの測定結果を表 4-1-23 に示す。

表 4-1-23 パケットロスは殆ど起こらない場合

受信拠点	配信元	ロスカウン ト/min	平均受信レ ートフレーム /Sec
山梨大学附属小学校	山梨大学附属小学校	0	5.0
	大垣市立北小学校	0	5.0
	白根巨摩中学校	0	5.0
	大垣市立北中学校	0	5.0
平均		0	5.0
大垣市立北小学校	山梨大学附属小学校	0	5.0
	大垣市立北小学校	0	5.0
	白根巨摩中学校	0	5.0
	大垣市立北中学校	0	4.0
平均		0	4.8
白根巨摩中学校	山梨大学附属小学校	0	5.0
	大垣市立北小学校	0	5.0
	白根巨摩中学校	0	5.0
	大垣市立北中学校	0	4.0
平均		0	4.8
大垣市立北中学校	山梨大学附属小学校	0	4.0
	大垣市立北小学校	0	5.0
	白根巨摩中学校	0	5.0
	大垣市立北中学校	0	5.0
平均		0	4.8

平均受信レートは 10 秒間計測した平均。

1.2 項(4)の条件2 パケットロストは時々起こりうる場合

- ・ 映像送信ソフトウェア：CamSvr_10k.exe
- ・ 送信レート:5 フレーム/sec
- ・ 送信パケットサイズ：10Kbyte
- ・ 送信画像データ圧縮係数：75 JPEG サイズ：約 10～17Kbyte
- ・ 映像受信ソフトウェア：zp_10k.exe
- ・ 実行 VR コンテンツデータ:Nasda11_IPv6_ff05

【実験結果】

映像受信レートとロストカウン트의測定結果を表 4-1-24 に示す。

表 4-1-24 パケットロストは時々起こりうる場合

受信拠点	配信元	ロストカウン t/min	平均受信レ ート フレーム/Sec
山梨大学附属小学校	山梨大学附属小学校	162	2.0
	大垣市立北小学校	177	1.0
	白根巨摩中学校	57	4.0
	大垣市立北中学校	160	3.0
平均		139	2.5
大垣市立北小学校	山梨大学附属小学校	58	3.0
	大垣市立北小学校	203	2.0
	白根巨摩中学校	184	2.0
	大垣市立北中学校	170	2.0
平均		154	2.3
白根巨摩中学校	山梨大学附属小学校	149	3.0
	大垣市立北小学校	87	3.0
	白根巨摩中学校	150	3.0
	大垣市立北中学校	106	3.0
平均		123	3.0
大垣市立北中学校	山梨大学附属小学校	74	3.0
	大垣市立北小学校	197	2.0
	白根巨摩中学校	156	2.0
	大垣市立北中学校	164	2.0
平均		148	2.3

平均受信レートは 10 秒間計測した平均。

1.2 項(4)の条件3 パケットロストは頻繁に起こりうる場合

- ・ 映像送信ソフトウェア：CamSvr_1k.exe
- ・ 送信レート：5 フレーム/sec
- ・ 送信パケットサイズ：1Kbyte
- ・ 送信画像データ圧縮係数：75 JPEG サイズ：約 10～17Kbyte
- ・ 映像受信ソフトウェア：zp_1k.exe
- ・ 実行 VR コンテンツデータ：Nasda11_IPv6_ff05

【実験結果】

映像受信レートとロストカウン트의測定結果を表 4-1-25 に示す。

表 4-1-25 パケットロストは頻繁に起こりうる場合

受信拠点	配信元	ロストカウン t/min	平均受信レ ート フレーム/Sec
山梨大学附属小学校	山梨大学附属小学校	284	0.0
	大垣市立北小学校	134	1.0
	白根巨摩中学校	129	2.0
	大垣市立北中学校	103	3.0
平均		163	1.5
大垣市立北小学校	山梨大学附属小学校	189	1.0
	大垣市立北小学校	288	0.0
	白根巨摩中学校	136	2.0
	大垣市立北中学校	142	2.0
平均		189	1.3
白根巨摩中学校	山梨大学附属小学校	163	2.0
	大垣市立北小学校	145	2.0
	白根巨摩中学校	200	0.0
	大垣市立北中学校	150	2.0
平均		165	1.5
大垣市立北中学校	山梨大学附属小学校	157	1.0
	大垣市立北小学校	261	1.0
	白根巨摩中学校	113	2.0
	大垣市立北中学校	268	0.0
平均		200	1.0

平均受信レートは 10 秒間計測した平均。

(5) トラフィック変動とリアルタイム性

参加拠点数 2 の場合

- ・ マルチキャスト
- ・ 参加拠点：白根巨摩中学校、山梨大学附属小学校
- ・ 映像送信ソフトウェア：CamSvr_30k.exe
- ・ 送信レート：5 フレーム/sec
- ・ 送信パケットサイズ：30Kbyte
- ・ 送信画像データ圧縮係数：75 JPEG サイズ：約 10～17Kbyte
- ・ 映像受信ソフトウェア：zp_30k.exe
- ・ 実行 VR コンテンツデータ：Nasda11_IPv6_ff05

【実験結果】

参加拠点数 2 の場合における受信レートの測定結果を表 4-1-26 に示す。

表 4-1-26 参加拠点数 2 の場合

受信拠点	配信元	ロストカウント /min	平均受信レート フレーム/sec
山梨大学附属小学校	山梨大学附属小学校	0	5.0
	白根巨摩中学校	0	5.0
平均		0	5.0
白根巨摩中学校	山梨大学附属小学校	0	5.0
	白根巨摩中学校	0	5.0
平均		0	5.0

平均受信レートは 10 秒間計測した平均。

参加拠点数 3 の場合

- ・ マルチキャスト
- ・ 参加拠点：白根巨摩中学校、山梨大学附属小学校、大垣市立北中学校
- ・ 映像送信ソフトウェア：CamSvr_30k.exe
- ・ 送信レート：5 フレーム/sec
- ・ 送信パケットサイズ：30Kbyte
- ・ 送信画像データ圧縮係数：75 JPEG サイズ：約 10～17Kbyte
- ・ 映像受信ソフトウェア：zp_30k.exe
- ・ 実行 VR コンテンツデータ：Nasda11_IPv6_ff05

【実験結果】

参加拠点数 3 の場合における受信レートの測定結果を表 4-1-27 に示す。

表 4-1-27 参加拠点数 3 の場合

受信拠点	配信元	ロストカウント /min	受信レート フレーム/sec
山梨大学附属小学校	山梨大学附属小学校	0	4.91
	白根巨摩中学校	0	4.89
	大垣市立北中学校	0	4.92
平均		0	4.91
白根巨摩中学校	山梨大学附属小学校	0	5.04
	白根巨摩中学校	0	4.94
	大垣市立北中学校	0	4.81
平均		0	4.93
大垣市立北中学校	山梨大学附属小学校	0	4.92
	白根巨摩中学校	0	5.33
	大垣市立北中学校	0	4.86
平均		0	5.04

平均受信レートは 10 秒間計測した平均。

参加拠点数 4 の場合

- ・ マルチキャスト
- ・ 参加拠点：白根巨摩中学校、山梨大学附属小学校、大垣市立北中学校、大垣市立北小学校
- ・ 映像送信ソフトウェア：CamSvr_30k.exe
- ・ 送信レート：5 フレーム/sec
- ・ 送信パケットサイズ：30Kbyte
- ・ 送信画像データ圧縮係数：75 JPEG サイズ：約 10～17Kbyte
- ・ 映像受信ソフトウェア：zp_30k.exe
- ・ 実行 VR コンテンツデータ：Nasda11_IPv6_ff05

【実験結果】

参加拠点数 4 の場合における受信レートの測定結果を表 4-1-28 に示す。

表 4-1-28 参加拠点数 4 の場合

受信拠点	配信元	ロストカウント /min	受信レート フレーム/sec
山梨大学附属小学校	山梨大学附属小学校	0	4.92
	大垣市立北小学校	0	5.07
	白根巨摩中学校	0	4.91
	大垣市立北中学校	0	4.92
平均		0	4.96
大垣市立北小学校	山梨大学附属小学校	0	4.63
	大垣市立北小学校	0	5.05
	白根巨摩中学校	0	4.99
	大垣市立北中学校	0	5.05
平均		0	4.93
白根巨摩中学校	山梨大学附属小学校	0	4.93
	大垣市立北小学校	0	4.93
	白根巨摩中学校	0	4.93
	大垣市立北中学校	0	4.94
平均		0	4.93
大垣市立北中学校	山梨大学附属小学校	0	5.18
	大垣市立北小学校	0	4.92
	白根巨摩中学校	0	4.94
	大垣市立北中学校	0	4.92
平均		0	4.99

平均受信レートは 10 秒間計測した平均。

(6) スループット変動とリアルタイム性

集線装置が 100Mbps の場合

- ・ マルチキャスト
- ・ 参加拠点：白根巨摩中学校、山梨大学附属小学校、大垣市立北中学校、大垣市立北小学校
- ・ 映像送信ソフトウェア：CamSvr_30k.exe
- ・ 送信レート：5 フレーム/sec
- ・ 送信パケットサイズ：30Kbyte
- ・ 送信画像データ圧縮係数：75 JPEG サイズ：約 10～17Kbyte
- ・ 映像受信ソフトウェア：zp_30k.exe
- ・ 実行 VR コンテンツデータ：Nasda11_IPv6_ff05

【実験結果】

- ・ スループットと受信レートの測定結果を表 4-1-29 に示す。

表 4-1-29 集線装置が 100Mbps の場合

受信拠点	配信元	ロストカウント /min	受信レート フレーム/sec
山梨大学附属小学校	山梨大学附属小学校	0	4.93
	大垣市立北小学校	0	4.93
	白根巨摩中学校	0	5.19
	大垣市立北中学校	0	4.92
平均		0	4.99
大垣市立北小学校	山梨大学附属小学校	0	4.93
	大垣市立北小学校	0	4.92
	白根巨摩中学校	0	4.93
	大垣市立北中学校	0	4.92
平均		0	4.93
白根巨摩中学校	山梨大学附属小学校	0	4.81
	大垣市立北小学校	0	5.00
	白根巨摩中学校	0	4.94
	大垣市立北中学校	0	4.66
平均		0	4.85
大垣市立北中学校	山梨大学附属小学校	0	4.77
	大垣市立北小学校	0	4.84
	白根巨摩中学校	0	5.04
	大垣市立北中学校	0	4.93
平均		0	4.92

平均受信レートは 10 秒間計測した平均。

集線装置が 1Gbps の場合

- ・ マルチキャスト
- ・ 参加拠点：白根巨摩中学校、山梨大学附属小学校、大垣市立北中学校、大垣市立北小学校
- ・ 映像送信ソフトウェア：CamSvr_30k.exe
- ・ 送信レート：5 フレーム/sec
- ・ 送信パケットサイズ：30Kbyte
- ・ 送信画像データ圧縮係数：75 JPEG サイズ：約 10～17Kbyte
- ・ 映像受信ソフトウェア：zp_30k.exe
- ・ 実行 VR コンテンツデータ：Nasda11_IPv6_ff05

【実験結果】

- ・ スループットと受信レートの測定結果を表 4-1-30 に示す。

表 4-1-30 集線装置が 1Gbps の場合

受信拠点	配信元	ロストカウント /min	受信レート フレーム/sec
山梨大学附属小学校	山梨大学附属小学校	0	4.92
	大垣市立北小学校	0	5.07
	白根巨摩中学校	0	4.91
	大垣市立北中学校	0	4.92
平均		0	4.96
大垣市立北小学校	山梨大学附属小学校	0	4.63
	大垣市立北小学校	0	5.05
	白根巨摩中学校	0	4.99
	大垣市立北中学校	0	5.05
平均		0	4.93
白根巨摩中学校	山梨大学附属小学校	0	4.93
	大垣市立北小学校	0	4.93
	白根巨摩中学校	0	4.93
	大垣市立北中学校	0	4.94
平均		0	4.93
大垣市立北中学校	山梨大学附属小学校	0	5.18
	大垣市立北小学校	0	4.92
	白根巨摩中学校	0	4.94
	大垣市立北中学校	0	4.92
平均		0	4.95

平均受信レートは 10 秒間計測した平均。

(7) リアルタイム性の変動と被験者のストレス

リアルタイム性の変動と被験者のストレスについてのアンケートを集計した結果を以下に示す。なお、被験者は4名である。

参加学校数の増加に対する影響度の設問
【回答結果】

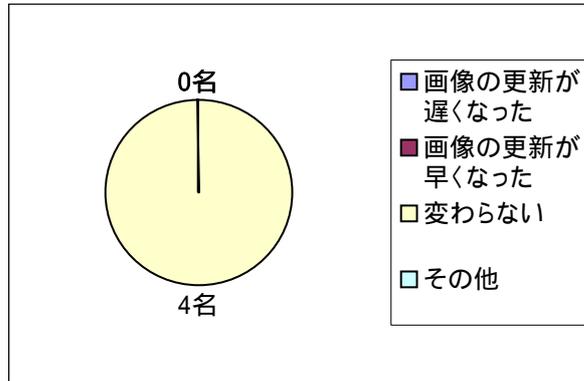


図 4-1-32 参加学校数による影響の回答結果

前項の設問で「3. 変わらない」以外を選んだ方へのストレスに対する設問
【回答結果】

前問で、すべての回答者が「3. 変わらない」を選んだため、本設問の回答者は0名であった。

スループットの変化による画像更新の影響度への設問
【回答結果】

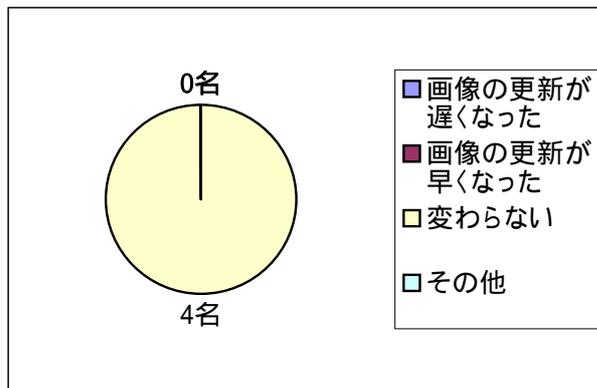


図 4-1-33 スループットによる影響の回答結果

前項の設問で「3. 変わらない」以外を選んだ方へのストレスに対する設問
【回答結果】

前問で、すべての回答者が「3. 変わらない」を選んだため、本設問の回答者は0名であった。

その他設問

【回答結果】

本設問に対する回答例は以下のとおりである。

- ・映像が止まってしまうことがあった。

(8) 3D 操作デバイスイベントの遅延

- ・ マルチキャスト
- ・ 3D-VR ソフトウェア：zp_30k.exe
- ・ 実行 VR コンテンツデータ：HopeOrbit10_IPv6_ff05_wiz
- ・ 操作拠点：白根巨摩中学校
- ・ 測定拠点：山梨大学附属小学校、大垣市立北中学校、大垣市立北小学校

【実験結果】

- ・ 3D 操作デバイスイベントの遅延時間の測定結果を以下に示す。
- ・ 実施日時：2003.02.24 16:30 ~ 17:00

表 4-1-31 3D 操作デバイスイベントの遅延時間

操作拠点		白根巨摩中学校			
測定拠点		大垣市立北 中学校	大垣市立北 小学校	山梨大学付 属小学校	3校平均
計測時間 [sec]	1[回]	0.59	0.59	0.44	
	2	0.59	0.60	0.54	
	3	0.68	0.56	0.60	
	4	0.62	0.53	0.37	
	5	0.50	0.59	0.34	
	6	0.63	0.50	0.53	
	7	0.43	0.53	0.37	
	8	0.50	0.56	0.44	
	9	0.50	0.56	0.40	
	10	0.63	0.60	0.53	
	平均	0.57	0.56	0.46	0.53

(9) 3D 操作デバイスイベントの遅延が被験者に与える影響

3D 操作デバイスイベントの遅延が被験者に与える影響についてのアンケートを集計した結果を以下に示す。

被験者は、操作者 1 名、観察者 3 名、計 4 名である。

3D 操作デバイスによる物体の特定指示に対する設問

【回答結果】

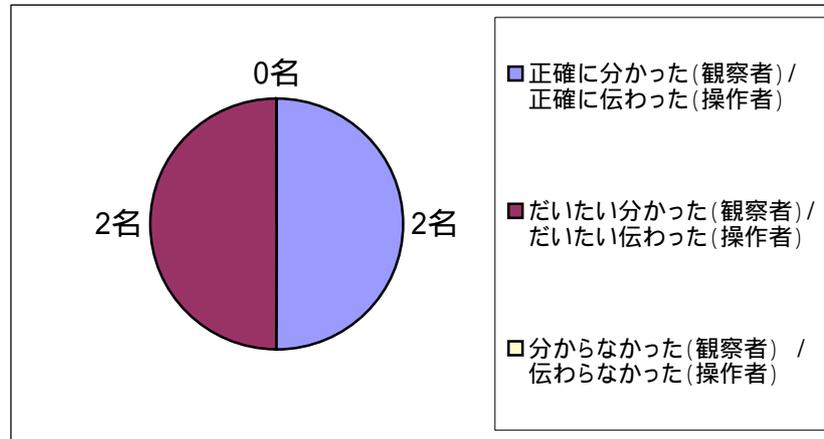


図 4-1-34 物体を指し示すイベントの回答結果

3D 操作デバイスによる視点の移動・回転に対する設問

【回答結果】

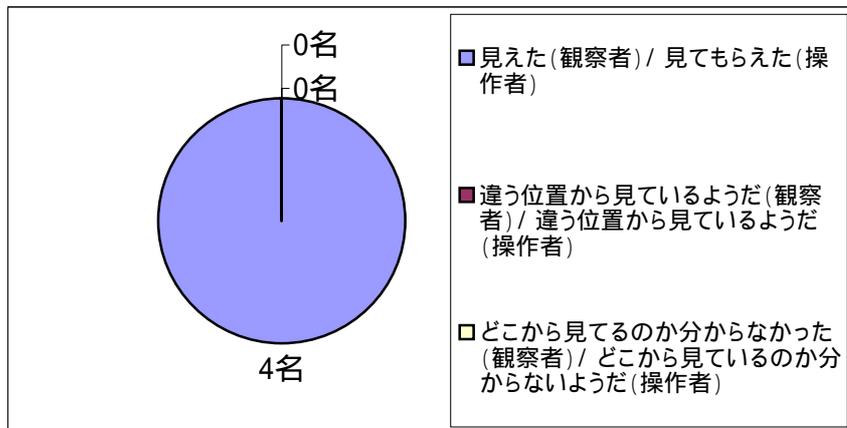


図 4-1-35 視点移動等のイベントの回答結果

3D 操作デバイスバーチャルペンシルによる 3D 描画に対する設問
【回答結果】

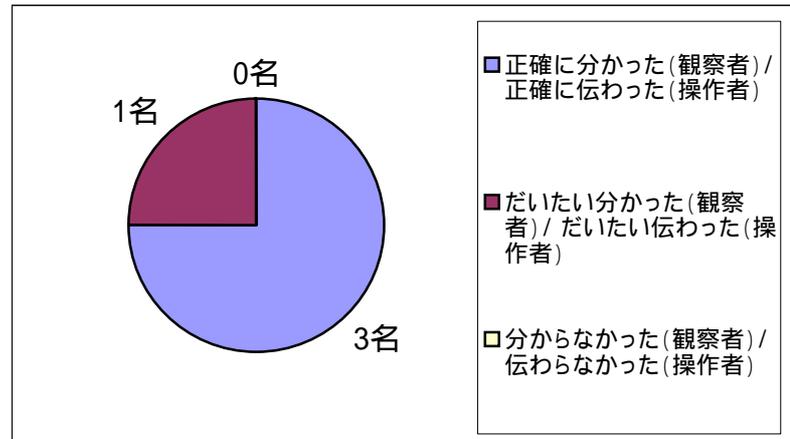


図 4-1-36 バーチャルペンシル描画イベントの回答結果

その他の設問

【回答結果】

- 本設問に対する回答例は以下のとおりである。
- ・ 矢印も立体でわかりやすかった(観察者)
 - ・ スムーズに指示できたと思う(操作者)

1.5 結果と考察

(1) 配信映像の遅延

【実験結果】

表 4-1-32 に、送信パケット別の配信映像の平均遅延時間(sec)の測定結果を示す。

表 4-1-32 配信映像の平均遅延時間

送信方法	配信元	平均測定時間 sec
ユニキャスト	白根巨摩中学校	0.61
	大垣市立北中学校	0.66
	平均	0.64
マルチキャスト	白根巨摩中学校	0.52
	大垣市立北中学校	0.69
	平均	0.60

【考察】

実験結果を平均値で見ると、確かにマルチキャストの場合がユニキャストの場合に比べて、若干小さくなっている。しかし、値のばらつきで見るとマルチキャストのデータのほうが分布が広いので、マルチキャストのほうが早かったとは言い切れない。

明確な結論を得るためには、より精密な方法による測定を検討する必要がある。

(2) 映像配信時のルータの負荷

【実験結果】

表 4-1-33 に、映像配信時のルータ負荷率の測定結果を示す。

表 4-1-33 映像配信時のルータ CPU 負荷率

ルータ設置拠点	ユニキャスト		マルチキャスト	
	Current[%]	Peak[%]	Current[%]	Peak[%]
白根巨摩中学校	3.33	4.00	3.50	3.67
開放型センター	1.00	1.67	1.33	1.67
山梨大学附属小学校	3.33	3.83	3.50	3.83
大垣市立北中学校	3.67	4.33	3.83	4.33
大垣市立北小学校	3.33	3.67	3.33	3.83
平均	2.93	3.50	3.10	3.47

【考察】

実験結果には、わずかな違いは見られるが、ユニキャストでもマルチキャストでもほぼ同じ値であり、この実験ではマルチキャストの優位性は確認できなかった。

映像配信にあたって、マルチキャストの利点が顕著に現れるほどのクライアント数ではなかったためと思われる。

(3) 映像配信時の送信サーバの負荷

【実験結果】

表 4-1-34 に映像送信時における送信サーバの CPU 負荷率を示す。

表 4-1-34 映像配信時の送信サーバ CPU 負荷率

映像配信サーバ設置拠点	ユニキャスト		マルチキャスト	
	平均[%]	最大値[%]	平均[%]	最大値[%]
白根巨摩中学校	82.19	83.02	82.13	82.92
大垣市立北中学校	82.22	83.56	82.16	82.92
平均	82.21	83.29	82.15	82.92

【考察】

(2)のルータ負荷率と同様、実験結果には、わずかな違いは見られるが、ユニキャストでもマルチキャストでもほぼ同じ値であり、この実験ではマルチキャストの優位性は確認できなかった。

映像配信にあたって、マルチキャストの利点が顕著に現れるほどのクライアント数ではなかったためと思われる。

少数のクライアントでは、送信サーバもルータも共に、マルチキャストを使用しても負荷が大きく減少することはないと分かった。

(4) パケットロス量と立体映像品質の相関

【実験結果】

各校別に 1.2 項(4)で設定した 3 つの条件でのロストカウントと平均受信レートの結果を表 4-1-34 に示す。

表 4-1-34 映像受信レートとパケットロストカウント

学校名	条件	ロストカウント /min	平均受信レート Hz/10sec
山梨大学附属小学校	パケットロストはほとんど起こらない場合	0	5.00
	パケットロストは時々起こりうる場合	139	2.50
	パケットロストは頻繁に起こりうる場合	163	1.50
大垣市立北小学校	パケットロストはほとんど起こらない場合	0	4.80
	パケットロストは時々起こりうる場合	154	2.30
	パケットロストは頻繁に起こりうる場合	189	1.30
白根巨摩中学校	パケットロストはほとんど起こらない場合	0	4.80
	パケットロストは時々起こりうる場合	123	3.00
	パケットロストは頻繁に起こりうる場合	165	1.50
大垣市立北中学校	パケットロストはほとんど起こらない場合	0	4.80
	パケットロストは時々起こりうる場合	148	2.30
	パケットロストは頻繁に起こりうる場合	200	1.00

【考察】

送信データパケットに対して、受信データパケットの到着順序が 2 個以上入れ替わる（到着しない分も含む）と、映像受信ソフトウェアでは、ロスパケットとして扱い、パケットを廃棄している。

各校とも表 4-1-34 に示すとおり、受信パケットのロストカウントが増えることによって、映像受信レートの値は低下している。先にも述べたが、映像受信レートの低下は、プログラム上直接映像更新レートの低下に結びついている。よって、受信パケットのパケットロスの増大は立体映像品質の低下にも結びついている。

(5) トラフィック変動とリアルタイム性

【実験結果】

表 4-1-35 に各校別の参加拠点数による平均受信レートの結果を示す。

表 4-1-35 参加拠点数と映像受信レートの平均

学校名	参加拠点校の数	ロストカウント /min	平均受信レート フレーム/sec
山梨大学附属小学校	2校	0	5.00
	3校	0	4.91
	4校	0	4.96
白根巨摩中学校	2校	0	5.00
	3校	0	4.93
	4校	0	4.85

【考察】

実験結果には、わずかな違いは見られるが、参加拠点数が2校から4校に増えたところで明確な差は現れなかった。

拠点数が増えた分だけトラフィックは増えるはずだが、2校から4校に増える程度では、受信レートに影響を及ぼすには至らないと分かった。

明確な効果を表すには、さらに大規模な数の拠点の参加が必要である。

(6) スループット変動とリアルタイム性

【実験結果】

表 4-1-36 に各校別に集線装置の伝送速度毎による平均受信レートの結果を示す。

表 4-1-36 スループットと映像受信レートの平均

学校名	スループット値 集線装置種別	ロストカウント /min	平均受信レート フレーム/sec
山梨大学附属小学校	100Mbps	0	4.99
	1Gbps	0	4.96
大垣市立北小学校	100Mbps	0	4.93
	1Gbps	0	4.93
白根巨摩中学校	100Mbps	0	4.85
	1Gbps	0	4.93
大垣市立北中学校	100Mbps	0	4.92
	1Gbps	0	4.99

【考察】

前項(5)のトラフィック変動と同様、実験結果には、わずかな違いは見られるが、集線装置の伝送速度に10倍の差をつけたにもかかわらず、明確な差は現れなかった。

サーバの送信レートが5フレーム/secだったので、100Mbpsの場合でもそれに近い値が出ているのが分かる。

したがって、この実験の条件では、伝送されるデータ量自体は、100Mbpsの伝送速度でも十分なキャパシティを持つということである。

逆に考えると、帯域に大きな余裕を持たせても、伝送データ量がそれを十分下回るならば、映像品質の向上にはあまり効果が無い。

また、同じ伝送データ量の2種の通信があるとして、一方は小さなパケットを多量に送り出し、他方は大きなパケットを少量送り出す場合ではスループットに差は出るのか、今後の検討課題である。

(7) リアルタイム性の変動と被験者のストレス

【実験結果】

まず、映像の見え方の変化に関する以下の2つの設問、

- ・参加学校数を2校、3校、4校と増やしていった時、遠隔地の実写画像の見え方に変化を感じたか？
- ・ネットワーク速度を1GBから100MBに変化させた時、遠隔地の実写画像の見え方に変化を感じたか？

このどちらも被験者全員が差を感じていなかった回答を得た。

【考察】

この結果は、前項(5)(6)において、数値的にも明確な差が見出せなかったことと対応している。

したがって、本実験においては、映像のリアルタイム性の変動とストレスの増加の関係を見出すに至っていない。

ただし、「その他」の設問に、

- ・映像が止まってしまうことがあった。

という回答があった。この現象は実験者が意図したものではないが、映像の更新が極端に遅れたり一時的に停止したりすれば被験者に違和感を与える、ということを示すものである。

(8) 3D操作デバイスイベントの遅延

【実験結果】

表 4-1-37 3D操作デバイスイベントの測定遅延時間の平均

測定拠点	大垣市立北 中学校	大垣市立北 小学校	山梨大学付 属小学校	3校平均
平均計測時間 sec	0.57	0.56	0.46	0.53

【考察】

前項(1)と同様、遅延の測定にストップウォッチを使用したため、測定精度は高くない。実験後の担当者へのヒアリングによれば、ここで確認したデバイスイベントのタイミングは、平均的な人間の反応速度より早かったようである。したがって、真の遅延時間より、人間の反応速度、通話に用いた携帯電話の遅延といった要素の割合が、想定していたよりもかなり大きいと考えられる。

逆に言えば、デバイスイベントそのものの遅延は被験者に違和感を感じさせない程度に十分収まっていることが確認できたといえる。厳密に定量的な評価が必要であれば、今後の課題となる。

(9) 3D 操作デバイスイベントの遅延が被験者に与える影響

【実験結果】

アンケートでは、以下の3つの操作についての認識を質問した。

- ・3D ポインタによる物体の特定指示
- ・3D 操作デバイスによる視点の移動・回転
- ・バーチャルペンシルによる3D 描画

これらについて、操作者・観察者とも良好な回答を得ている。

【考察】

この集計結果によると、操作者の意図は観察者に円滑に伝わっていると判断できる。すべての設問について、意図が十分に伝わらなかった・分からなかった、という回答は無い。

この結果は、前項(8)の考察を裏付けるものである。

2 高品質高信頼性ネットワーク技術

2.1 実験要求事項

(1) Diffserv 及び MPLS による優先度通信

Diffserv 及び MPLS により優先度を設定した上で、優先順位の高い通信について、スループット、遅延時間、パケットロス率を測定し、通信品質への影響度を確認するとともに、映像品質についてもヒアリング・アンケート調査による主観調査で検証する。

(2) 地域 IX による通信

地域トラフィックについて、地域 IX が存在しない場合（他地区で折り返す場合）と地域 IX が存在する場合（地域内で折り返す場合）の両方で、スループット、遅延時間、パケットロス率を測定し、地域 IX が存在する場合のほうが安定したスループットが得られ、遅延時間も安定的に短く、かつパケットロスも小さいことを確認する。

2.2 実験仕様、手順

(1) Diffserv 及び MPLS による優先度通信

図 4-2-1 に高品質高信頼ネットワーク実証実験構成図を示す。

【実験仕様概要】

- ア. 山梨大学附属小学校、白根巨摩中学校、および大垣市立北中学校の 3 校間で、3次元 VR システム動作させ、ネットワーク上にトラフィックを発生させる。
- イ. また、山梨県立科学館に設置した天体観測システムに蓄積されている天体の動画像を、大垣市立北小学校で表示させる。
- ウ. 上述 イ項の環境について、Diffserv 及び MPLS により優先度を設定した場合と、設定しなかった場合とのスループット、遅延時間、パケットロス率を測定する。
- エ. また、大垣市立北小学校にて表示される映像品質について、ヒアリング・アンケート調査による主観評価を実施する。

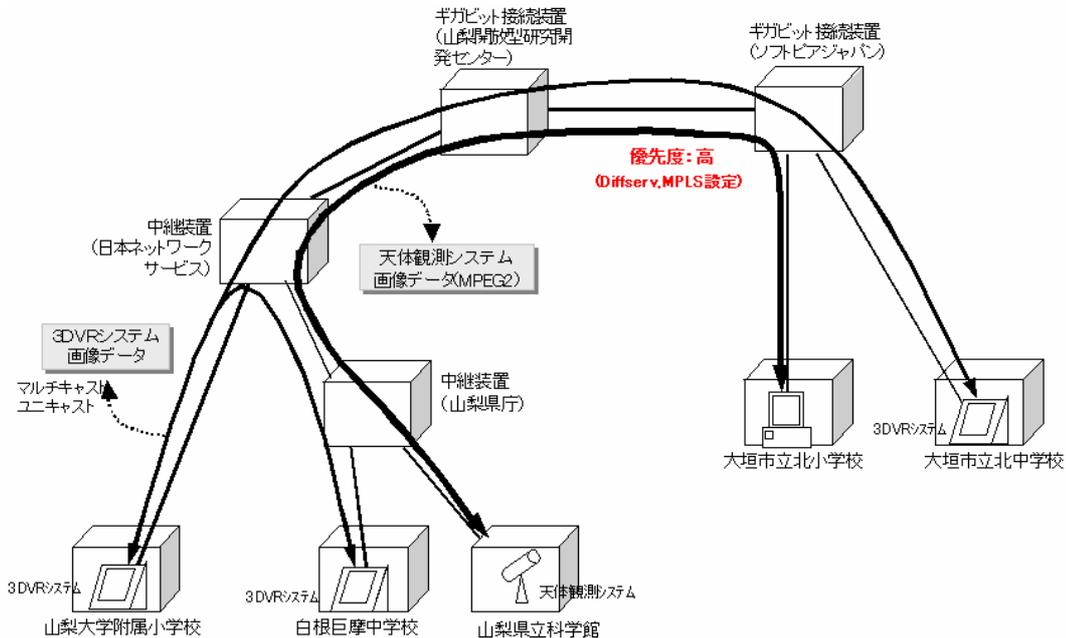


図 4-2-1 高品質高信頼ネットワーク実証実験構成図

Diffserv 及び MPLS により優先度を設定しなかった場合

- ア. 山梨大学附属小学校、白根巨摩中学校、および大垣市立北中学校の 3 校間で、3次元 VR システムを動作させ、常時 3 校間での 3 次元 VR による通信 (3D 映像 (実写カメラ映像)、音声等) を行っている状態にする。
- イ. 大垣市立北小学校にある PC を起動し、IE 6.0 (インターネット Explorer) を立ち上げ、『保存ビデオメニュー』(図 4-2-2) を表示させる。
- ウ. 山梨県立科学館に設置した天体観測システムに蓄積されている天体の動画像の内、『保存ビデオメニュー』に表示される土星食動画像を選択し、MPEG2 ビューワーを起動する。(図 4-2-3) (demo_dosei01_2M.mpg)
- エ. 起動メッセージが出てから、実際の動画像が出るまでの時間を 10 回計測する。(図 4-2-4) (遅延時間の計測)
- オ. 表示している動画像の映像品質についてヒアリング (モザイク画像の出現回数にて映像品質を判断) を行う。
- カ. また、大垣市立北小学校に設置の接続装置 (IX5003) のシステムログを採取し、スループット、パケットロス数を計測する。

- キ. なお、常時3校間での3次元VRによる接続を、マルチキャストによる通信及びユニキャストによる通信にそれぞれ変更し、上述項目アからカについて検証する。

Diffserv 及び MPLS により優先度を設定した場合

- ア. 山梨県立科学館と大垣市立北小学校間にある接続装置 (IX5003)、中継装置 (IX5020) 及びギガビットネットワーク接続装置 (IX5020) に対して、Diffserve、MPLS 設定を行う。(図 4-1-1 中にある優先度：高の設定) 接続装置等に設定する Diffserve、MPLS 設定概念図を図 4-2-2 に示す。

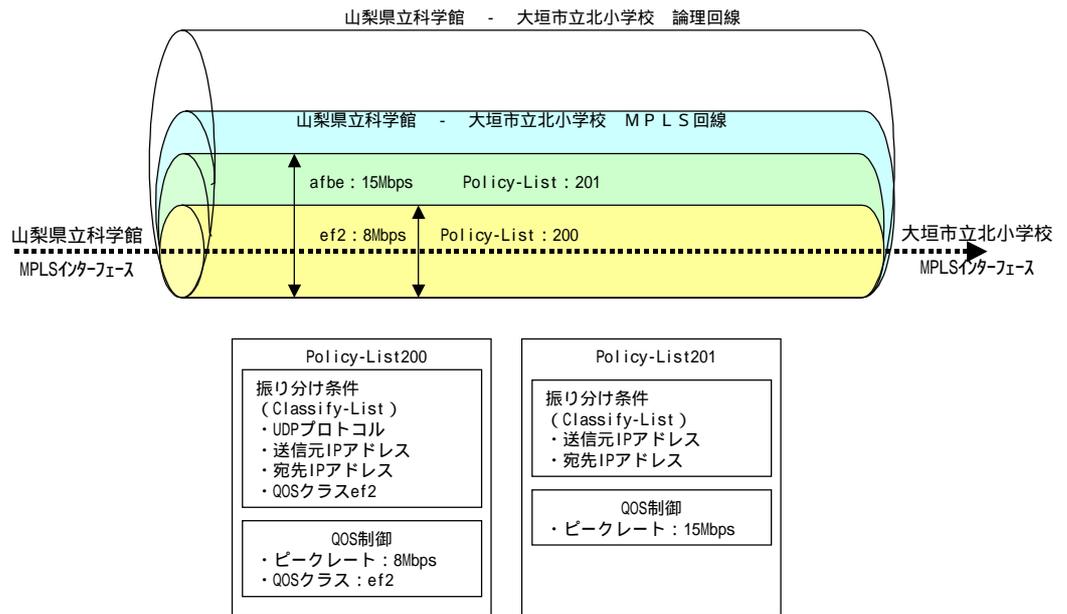


図 4-2-2 Diffserve、MPLS 設定概念図

- イ. 山梨大学附属小学校、白根巨摩中学校、および大垣市立北中学校の3校間で、3次元VRシステムを動作させ、常時3校間での3次元VRによる通信(3D映像(実写カメラ映像)音声等)を行っている状態にする。
- ウ. 大垣市立北小学校にあるPCを起動し、IE6.0(インターネットエクスプローラ)を立ち上げ、『保存ビデオメニュー』(図4-2-3)を表示させる。
- エ. 山梨県立科学館に設置した天体観測システムに蓄積されている天体の動画像の内、『保存ビデオメニュー』に表示される土星食動画像を選択し、MPEG2ビューワーを起動する。(図4-2-4)(demo_dosei01_2M.mpg)
- オ. 起動メッセージが出てから、実際の動画像が出るまでの時間を10回計測する。(図4-2-5)(遅延時間の計測)
- カ. 表示している動画像の映像品質についてヒアリング(モザイク画像の出現回数に映像品質を判断)を行う。
- キ. また、大垣市立北小学校に設置の接続装置(IX5003)のシステムログを採取し、スループット、パケットロス数を計測する。
- ク. なお、常時3校間での3次元VRによる接続を、マルチキャスト及びユニキャストにそれぞれ変更し、上述項目イからキについて検証する

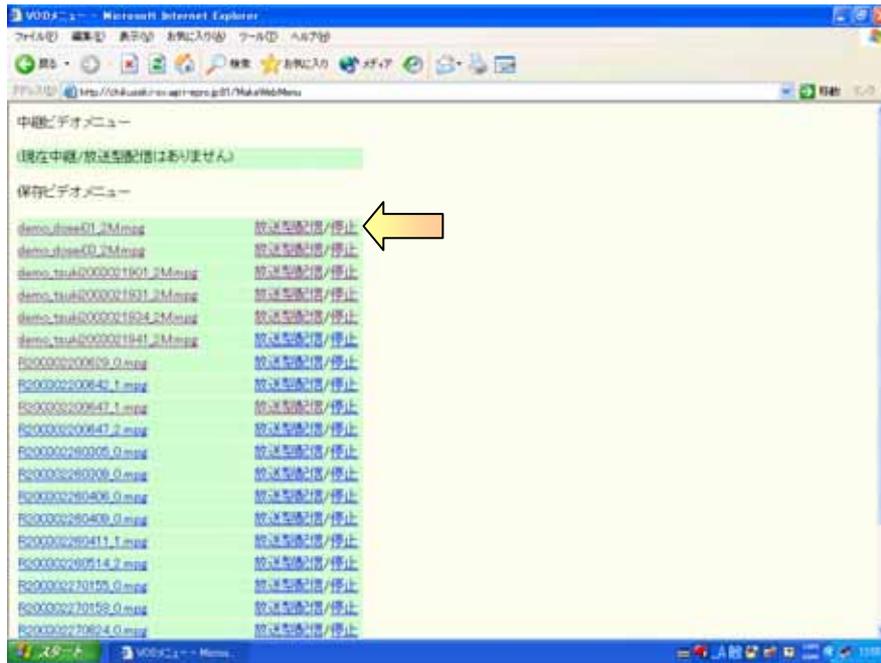


図 4-2-3 保存ビデオメニュー画面

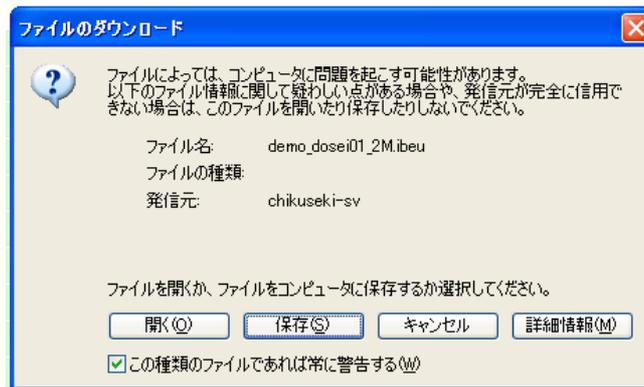


図 4-2-4 MPEG2 ビューワーの起動画面



図 4-2-5 MPEG2 ビューワーの表示画面

(2) 地域 IX による通信

図 4-2-6 に地域 IX における実証実験の構成図を示す。

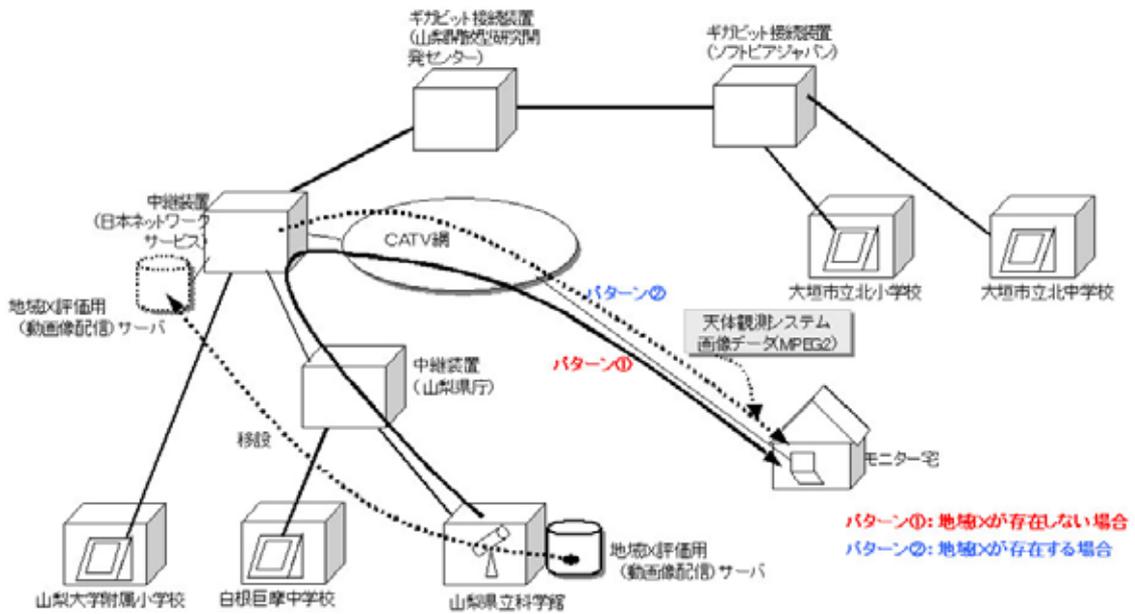


図 4-2-6 地域 IX における実証実験構成図

地域 IX が存在しない場合（他地区で折り返す場合）

- ア. 山梨県立科学館に設置の動画像蓄積装置の動画像の配信機能だけを抽出した地域 IX 評価用（動画像配信）サーバを山梨県立科学館の接続装置（IX5003）配下に設置する。

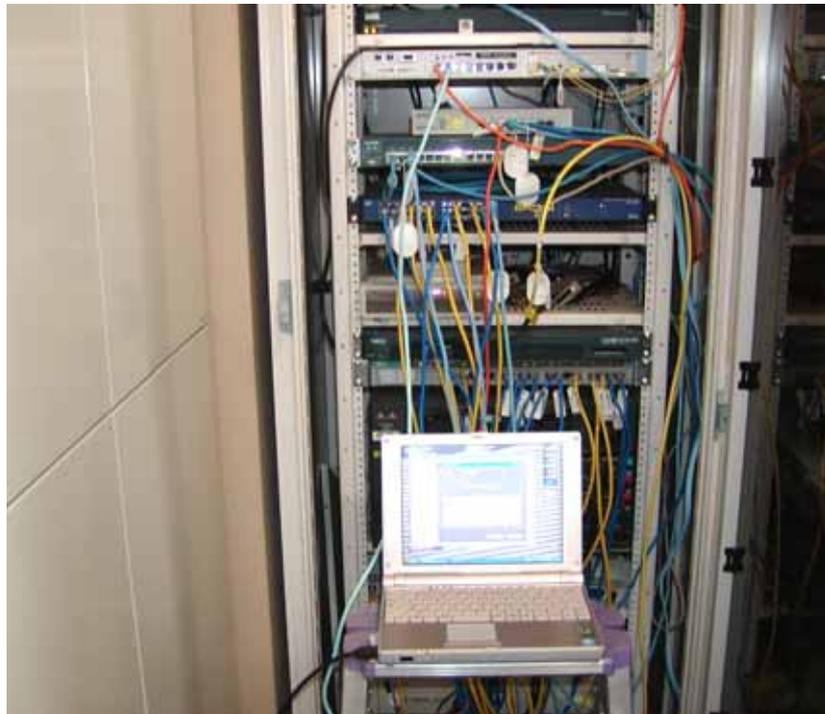


写真 4-2-1 山梨県立科学館に設置した地域 IX 評価用（動画像配信）サーバ

- イ. 任意抽出のモニター宅のモニターPCを起動し、IE6.0(インターネットエクスプローラ)を立ち上げ、地域IX評価用(動画配信)サーバに接続し『保存ビデオメニュー』(図4-2-7)を表示させる。
- ウ. 地域IX評価用(動画配信)サーバに保存している天体の動画の内、『保存ビデオメニュー』に表示される土星食動画を選択し、MPEG2ビューワーを起動する。(図4-2-8)(demo_dosei01_2M.mpg)
- エ. 起動メッセージが出てから、実際の動画が出るまでの時間を10回計測する。(図4-2-9)(遅延時間の計測)
- オ. また、実証実験中に日本ネットワークサービスに設置した中継装置のシステムステータスを採取する。単位時間(60Sec)あたりに中継装置の論理インターフェイス(vlantag2)を通過したデータグラム数を、本システムのスループット値(Datagram/Sec)とし、またシステムステータスに表示される『InDiscards』値をパケットロス数とした。
- カ. 映像品質については、ビューアーを表示させ、1分間表示させ、モザイク画像となる回数をカウントし、映像品質の目安とした。

地域IXが存在する場合(地域内で折り返す場合)

- ア. 地域IX評価用(動画配信)サーバを、山梨県立科学館から日本ネットワークサービス㈱(以下、NNSと略す)の中継装置(IX5020)配下に移設する。(写真4-2-2)

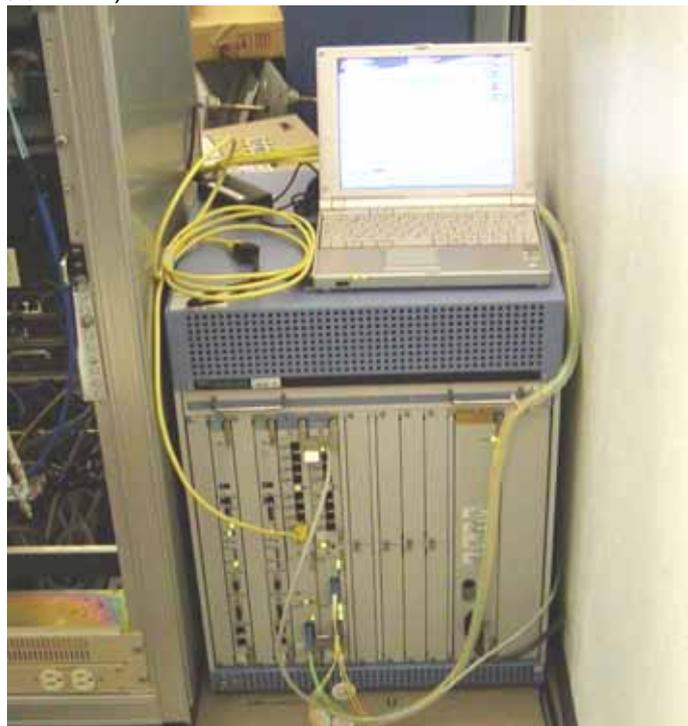


写真4-2-2 NNSに設置した地域IX評価用(動画配信)サーバ

- イ. 任意抽出のモニター宅のモニターPCを起動し、IE6.0(インターネットエクスプローラ)を立ち上げ、地域IX評価用(動画配信)サーバに接続し『保存ビデオメニュー』(図4-2-7)を表示させる。
- ウ. 地域IX評価用(動画配信)サーバに保存している天体の動画の内、『保存ビデオメニュー』に表示される土星食動画を選択し、MPEG2ビューワーを起動する。(図4-2-8)(demo_dosei01_2M.mpg)

- イ. 起動メッセージが出てから、実際の動画像が出るまでの時間を 10 回計測する。(図 4-2-9)(遅延時間の計測)
- オ. また、実証実験中に日本ネットワークサービスに設置した中継装置のシステムステータスを採取する。単位時間(60Sec)あたりに中継装置の論理インターフェースを通過したデータグラム数をシステムのスループット値(Datagram/Sec)とし、またシステムステータスに表示される『InDiscards』値をパケットロス数とした。
- カ. 映像品質については、ビューアーを表示させ、1分間表示させ、モザイク画像となる回数をカウントし、映像品質の目安とした。

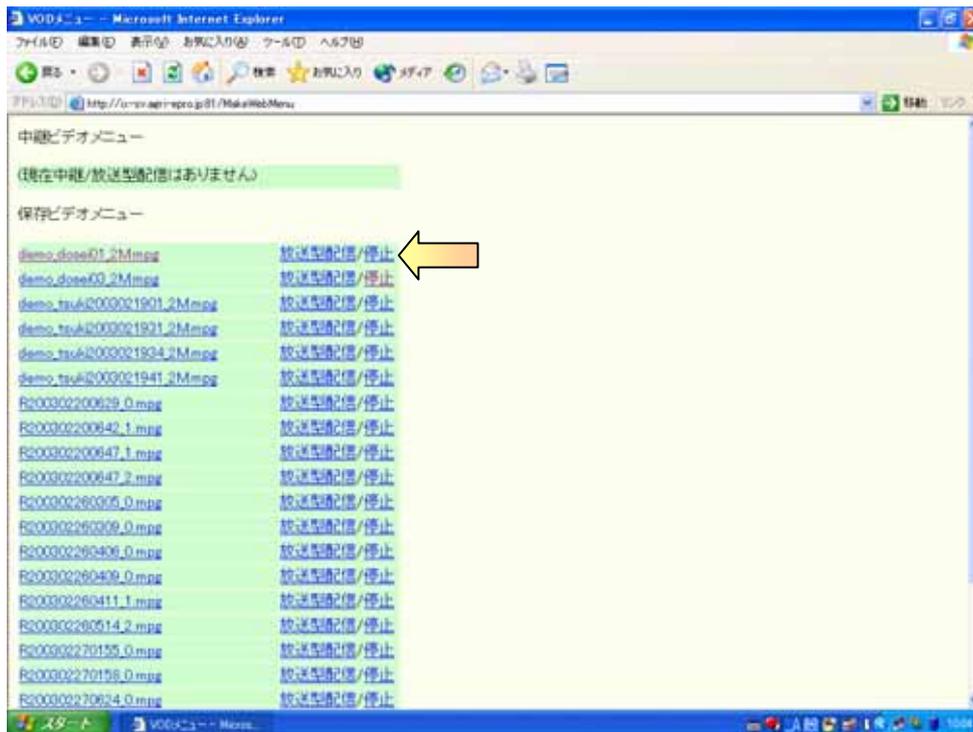


図 4-2-7 保存ビデオメニュー画面

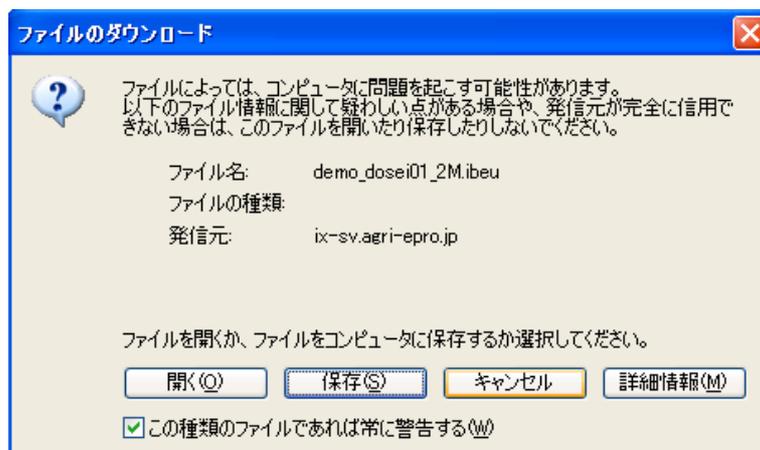


図 4-2-8 MPEG2 ビューワーの起動画面



図 4-2-9 MPEG2 ビューワの表示画面

2.3 実験実施環境

(1) Diffserv 及び MPLS による優先度通信

実験実施場所

3次元VR環境

- ・ 山梨大学附属小学校 プレイルーム
- ・ 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

天体観測システム環境

- ・ 『動画蓄積装置』 山梨県立科学館 事務室
- ・ 『表示系』 岐阜県大垣市立北小学校 コンピュータールーム

実験実施環境構成図

4.2 項(1)項の実験を実施した実験環境の構成図を図 4-2-10 に示す。

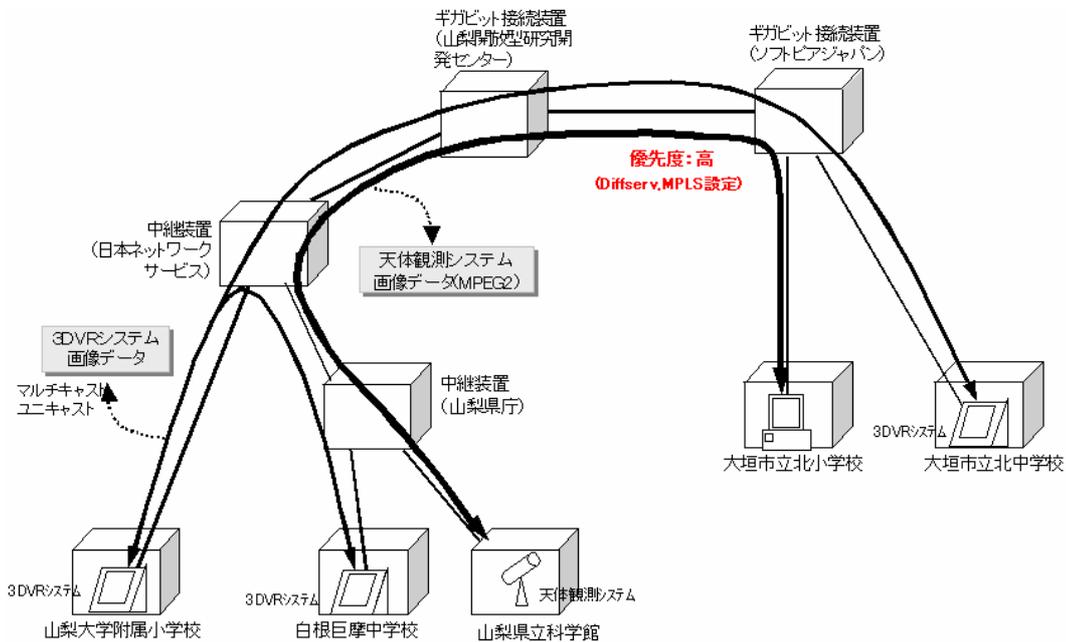


図 4-2-10 高品質高信頼ネットワーク実証実験構成図

大垣市立北小学校における動画像の表示装置

大垣市立北小学校に設置した3次元VR装置における映像生成装置(左眼用)に、MPEG2ビューワーをインストールし、天体動画像の表示装置とした。

(2) 地域IXによる通信

実験実施場所

- ・ 山梨県立科学館 事務室
- ・ 日本ネットワークサービス(株)
- ・ 任意抽出のモニター宅

実験実施環境構成図

4.2 項(2)項の実験を実施した実験環境の構成図を図 4-2-11 に示す。

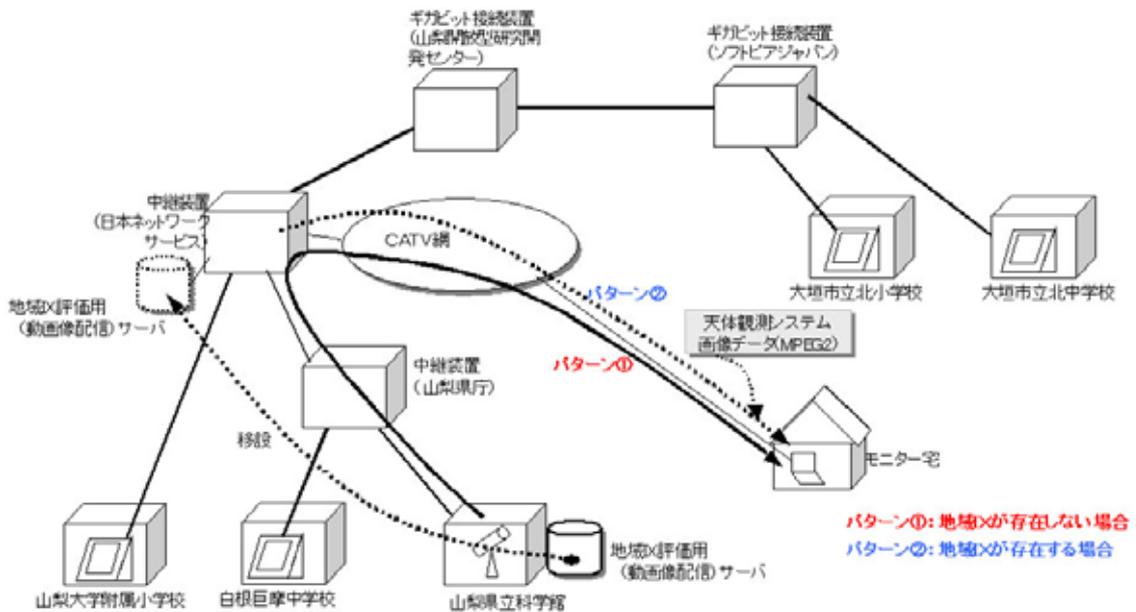


図 4-2-11 地域 IX における実証実験構成図

地域 IX 評価用 (動画配信) サーバ

実験時における山梨県立科学館から日本ネットワークサービスへの移設時の可搬性を考慮し、動画蓄積装置の動画の配信機能だけを抽出した地域 IX 評価用 (動画配信) サーバを別途用意した。その地域 IX 評価用 (動画配信) サーバに使用した PC のスペックを以下に示す。(写真 4-2-3)

- ア. ノート型 PC
- イ. CPU: Crusoe (600MHz)
- ウ. メインメモリ: 192Mbyte
- エ. ハードディスク容量: 30Gbyte
- オ. 10.4 インチ TFT 液晶カラーディスプレイ

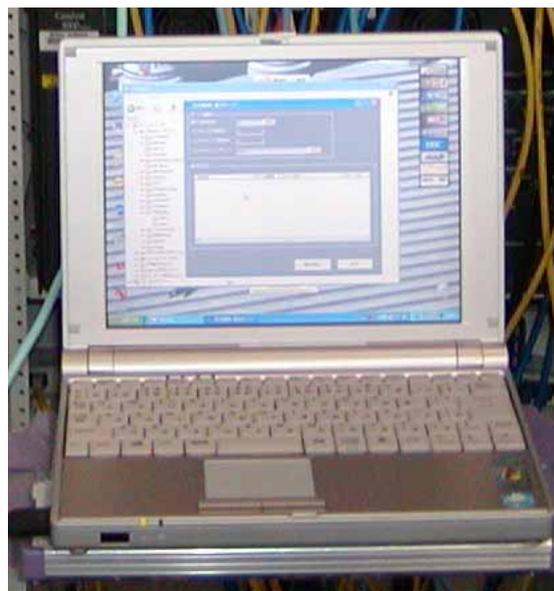


写真 4-2-3 地域 IX 評価用 (動画配信) サーバ

モニター宅のモニター装置B

実証実験に協力してもらったモニター宅のモニター装置Bの設置外観写真を写真4-2-4に示す。



写真 4-2-4 モニター装置Bの設置外観

2.4 実験実施結果

(1) Diffserv 及び MPLS による優先度通信

Diffserv 及び MPLS による優先度設定した場合における接続装置のステータス表示の一例を図 4-2-12 に、設定しない場合における接続装置のステータス表示の一例を図 4-2-13 に示す。

```
33 kita-syo# show statistics policy-map
Policy Map Interface      : mplsp      1 in
Policy Map Sequence No.  : 1
Policy List No.          : 200 (      )
Statistics                : enable
Classify List No.        : 100 (      )
Profile No.               : 10 (      )
Forward Packets           : 68089
Discard Packets           : 0
Packet Octets             : 75851146
Discard Octets            : 0
Soft Flow Packets        : 7
Policy Map Sequence No.  : 2
Policy List No.          : 201 (      )
Statistics                : enable
Classify List No.        : 101 (      )
Profile No.               : 11 (      )
Forward Packets           : 48818
Discard Packets           : 0
Packet Octets             : 45417532
Discard Octets            : 0
Soft Flow Packets        : 8
Default-Be
Forward Packets           : 216209
Discard Packets           : 0
Packet Octets             : 227166854
Discard Octets            : 0
```

図 4-2-12 優先度設定した場合における接続装置のステータス表示例

```
8 kita-syo# show statistics ipv6

vlan_2
[ Incomin ]          [ Outgoing ]
InReceives          : 89275      OutRequests         : 158
InHdrErrors          : 0
InAddrErrors         : 0
InTruncatedPkts     : 0
InUnknownProtos     : 0
TooBigErrors         : 0
InNoRoutes           : 0
InDiscards           : 0          OutDiscards         : 0
InDelivers           : 155        OutForwDatagrams   : 35950
ReasmReqds           : 0          OutFragCreates     : 0
ReasmOKs             : 0          OutFragOKs         : 0
ReasmFails           : 0          OutFragFails       : 0
InMcastPkts         : 107        OutMcastPkts       : 109
```

図 4-2-13 優先度設定しない場合における接続装置のステータス表示例

以下のケース1とケース2は、3次元VRシステムを3校間のユニキャスト或いはマルチキャストにて通信を実施した上で、Diffserv 及び MPLS による優先度の設定を行わずに、大垣市立北小学校にて山梨県立科学館に設置の動画像蓄積装置にある天体動画像を表示させ、その影響度を確認する実験の結果である。

ケース1

以下の計測条件により計測した場合の実験結果として、表 4-2-1 にスループット値、MPEG2 画像の表示までの速度、パケットロス値、およびモザイク画像の出現回数とそれによる映像品質等の結果を示す。

- ・ Diffserv 及び MPLS による優先度を設定しない場合
- ・ 3次元VRシステム：3校間のユニキャストによる通信
- ・ 天体動画像の転送速度:2Mbps

表 4-2-1 優先度を設定しない場合の実験結果 (3校間ユニキャスト)

回数	MPEG2画像の表示までの速度 (Sec)	スループット (データグラム /sec)	パケットロス数	モザイク画像の出現	映像品質	備考
1	2.96	274.78	0	0	良	
2	3.36	274.73	0	0	良	
3	3.18	274.97	0	0	良	
4	3.17	274.98	0	0	良	
5	3.15	274.57	0	0	良	
6	3.06	274.75	0	0	良	
7	3.05	274.73	0	0	良	
8	3.05	274.53	0	0	良	
9	3.11	274.78	0	0	良	
10	3.11	283.22	0	0	良	
平均	3.12	275.61	0	0	-	

ケース2

以下の計測条件により計測した場合の実験結果として、表 4-2-2 にスループット値、MPEG2 画像の表示までの速度、パケットロス値、およびモザイク画像の出現回数とそれによる映像品質等の結果を示す。

- ・ Diffserv 及び MPLS による優先度を設定しない場合
- ・ 3次元VRシステム：3校間のマルチキャストによる通信
- ・ 天体動画像の転送速度:2Mbps

表 4-2-2 優先度を設定しない場合の実験結果 (3校間マルチキャスト)

回数	MPEG2画像の表示までの速度 (Sec)	スループット (データグラム /sec)	パケットロス数	モザイク画像の出現	映像品質	備考
1	3.10	275.68	0	0	良	
2	3.11	275.65	0	0	良	
3	3.15	275.45	0	0	良	
4	3.05	275.42	0	0	良	
5	3.08	275.87	0	0	良	
6	3.18	275.57	0	0	良	
7	3.14	275.03	0	0	良	
8	3.05	276.48	0	0	良	
9	3.02	275.27	0	0	良	
10	3.14	275.03	0	0	良	
平均	3.10	275.55	0	0	-	

以下のケース3とケース4は、3次元VRシステムを3校間のユニキャスト或いはマルチキャストにて通信を実施した上で、山梨県立科学館と大垣市立北小学校との間を Diffserv 及び MPLS による優先度の設定を行い、大垣市立北小学校にて天体動画像を表示させ、その影響度を確認する実験の結果である。

ケース3

以下の計測条件により計測した場合の実験結果として、表 4-2-3 にスループット値、MPEG2 画像の表示までの速度、パケットロス値、およびモザイク画像の出現回数とそれによる映像品質等の結果を示す。

- ・ Diffserv 及び MPLS による優先度を設定した場合
- ・ 3次元VRシステム：3校間のユニキャストによる通信
- ・ 天体動画像の転送速度:2Mbps

表 4-2-3 優先度を設定した場合の実験結果 (3校間ユニキャスト)

回数	MPEG2画像の表示までの速度 (Sec)	スループット (データグラム /sec)	パケットロス数	モザイク画像の出現	映像品質	備考
1	3.11	273.28	0	0	良	約64Sec間実測
2	3.11	273.05	0	0	良	
3	3.09	273.28	0	0	良	約64Sec間実測
4	3.02	273.51	0	0	良	約62Sec間実測
5	3.09	273.07	0	0	良	
6	3.10	273.05	0	0	良	
7	3.10	273.02	0	0	良	
8	3.11	273.05	0	0	良	
9	3.11	273.05	0	0	良	
10	3.12	273.05	0	0	良	
平均	3.10	273.14	0	0	-	

1,3,および4回目は、60秒間の実測では無く、MPEG2 動画像ビューワーの停止遅れにより、備考欄の時間にて計測。

ケース4

以下の計測条件により計測した場合の実験結果として、表 4-2-4 にスループット値、MPEG2 画像の表示までの速度、パケットロス値、およびモザイク画像の出現回数とそれによる映像品質等の結果を示す。

- ・ Diffserv 及び MPLS による優先度を設定した場合
- ・ 3次元VRシステム：3校間のマルチキャストによる通信
- ・ 天体動画像の転送速度:2Mbps

表 4-2-4 優先度を設定した場合の実験結果 (3校間マルチキャスト)

回数	MPEG2画像の表示までの速度 (Sec)	スループット (データグラム /sec)	パケットロス数	モザイク画像の出現	映像品質	備考
1	3.01	273.07	0	0	良	
2	2.99	273.03	0	0	良	
3	3.15	273.03	0	0	良	
4	3.05	273.03	0	0	良	
5	3.12	273.02	0	0	良	
6	3.12	273.07	0	0	良	
7	3.02	273.05	0	0	良	
8	3.17	272.95	0	0	良	
9	3.12	273.03	0	0	良	
10	3.08	273.07	0	0	良	
平均	3.08	273.04	0	0	-	

(2) 地域 IX による通信

ケース 1

以下の計測条件により実験を実施した。

- ・ 地域 IX が存在しない場合（地域 IX 評価用サーバを山梨県立科学館に設置）
- ・ 動画像の転送速度:2Mbps

本実験に関連する接続装置 (IX5003)、および中継装置 (IX5020) の使用するインターフェースについて、論理インターフェース概略図を図 4-2-13 に示す。

また、各装置のインターフェース毎に通過した単位時間あたり（60Sec）のデータグラム数を 15 回計測した。（表 4-2-5）

（MPEG2 ビューワーを起動後、実動画像が表示されるまでの時間を計測したが、最初の 4 回、実動画像が表示されなかったため、10 回の計測のところ 15 回計測をおこなった。）

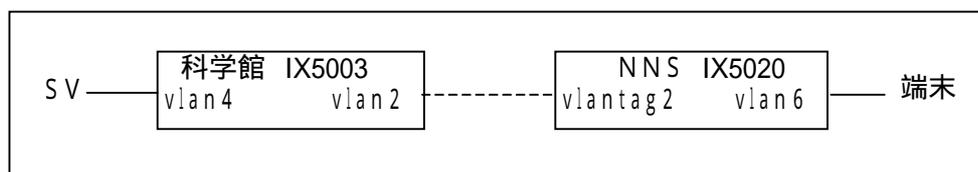


図 4-2-13 接続装置間インターフェース概略図

表 4-2-5 装置のインターフェース毎に通過した単位時間（60Sec）あたりのデータグラム数

	科学館		NNS	
	vlan4	vlan2	vlantag2	vlan6
	in	out	in	out
1	16740	16721	16973	16630
2	39121	39103	59942	59669
3	60839	60807	40072	39944
4	16593	16576	16725	16455
5	16632	16611	16582	16460
6	16551	16541	16632	16461
7	16618	16597	16557	16452
8	16543	16527	16661	16450
9	16605	16586	16555	16450
10	16547	16537	16648	16446
11	16622	16601	16553	16448
12	16578	16561	16725	16489
13	16689	16668	16602	16475
14	16526	16517	16618	16450
15	16599	16579	16556	16450

以上の計測したデータの内、日本ネットワークサービス(株)に設置してある中継装置の論理インターフェースである vlantag2 のデータをスループット算出の基礎データとして扱った。

地域 IX が存在しない場合の実験結果として、表 4-2-6 に表 4-2-5 から算出したスループット値、MPEG2 画像の表示までの速度、パケットロス値、およびモザイク画像の出現回数とそれによる映像品質等の結果を示す。

表 4-2-6 地域 IX が存在しない場合の実験結果

回数	MPEG2画像の表示までの速度 (Sec)	スループット (データグラム /sec)	パケットロス数	モザイク画像の出現	映像品質	備考
1	不安定のため計測無し	282.88	----	----	----	
2	不安定のため計測無し	999.03	----	----	----	
3	不安定のため計測無し	667.87	----	----	----	
4	不安定のため計測無し	278.75	----	----	----	
5	4.79	276.37	0	11	不可	
6	4.85	277.20	0	10	不可	
7	4.75	275.95	0	10	不可	
8	4.88	277.68	0	12	不可	
9	5.31	275.92	0	13	不可	
10	4.47	277.47	0	11	不可	
11	4.82	275.88	0	12	不可	
12	4.91	278.75	0	10	不可	
13	4.43	276.70	0	16	不可	
14	4.59	276.97	0	9	不可	
15	4.81	275.93	0	13	不可	
平均	4.78	351.56	0	11.55	-	

スループットにバラツキが生じており、かつモザイク画像の出現回数も多く映像品質も前述の(1)項で実施した試験より劣化していた。

ケース 2

以下の計測条件により実験を実施した。

- ・ 地域 IX が存在する場合 (地域 IX 評価用サーバを N N S に設置)
- ・ 動画像の転送速度:2Mbps

本実験に使用する中継装置 (IX5020) の論理インターフェースについて、論理インターフェース概略図を図 4-2-14 に示す。

また、中継装置のインターフェース毎に通過した単位時間あたり (60Sec) のデータグラム数を計測した結果を表 4-2-7 に示す。

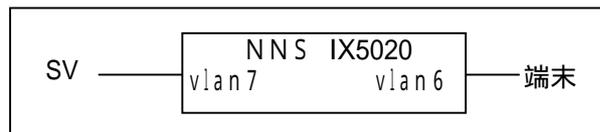


図 4-2-14 中継装置論理インターフェース概略図

表 4-2-7 単位時間 (60Sec) あたりのデータグラム数

	vlan7 in	vlan6 out
1	16455	16458
2	16468	16462
3	16446	16447
4	16459	16458
5	15935	15935
6	15936	15937
7	16446	16449
8	16454	16451
9	15937	15936
10	16457	16458

以上の計測したデータの内、中継装置の論理インターフェースである vlan7 のデータをスループット算出の基礎データとして扱った。

地域 IX が存在しない場合の実験結果として、表 4-2-8 に表 4-2-7 から算出したスループット値、MPEG2 画像の表示までの速度、パケットロス値、およびモザイク画像の出現回数とそれによる映像品質等の結果を示す。

表 4-2-8 地域 IX が存在する場合の実験結果

回数	MPEG2画像の表示までの速度 (Sec)	スループット (データグラム /sec)	パケットロス数	モザイク画像の出現	映像品質	備考
1	6.94	274.25	0	8	不可	
2	4.59	274.47	0	12	不可	
3	6.81	274.10	0	8	不可	
4	4.63	274.32	0	10	不可	
5	4.68	265.58	0	8	不可	
6	4.54	265.60	0	7	不可	
7	4.47	274.10	0	11	不可	
8	4.50	274.23	0	13	不可	
9	4.72	265.62	0	12	不可	
10	4.78	274.28	0	11	不可	
平均	5.07	271.66	0	10	-	

スループットのバラツキは、地域 IX が存在しない場合と比較して、かなり改善されている。しかし、モザイク画像の出現回数、およびそれに伴う映像品質は、地域 IX が存在しない場合と同様の結果となった。

2.5 結果と考察

(1) Diffserv 及び MPLS による優先度通信

実証実験結果

実証実験のケース 1 からケース 4 を表 4-2-9 に纏めた。この表から総合的に判断すると以下のことが云える。

- ・ 映像品質は、どのケースにおいても劣化は無い。
- ・ MPEG2 の天体動画像におけるパケットロスについても、どのケースともに見受けられない。
- ・ ケース 4 の Diffserv 及び MPLS による優先度設定を行い、かつ 3 校間でマルチキャスト通信を行った際に、システム上に流れるパケットも最も少ないため、動画像表示(MPEG2)についても最も速く表示した。

表 4-2-9 Diffserv 及び MPLS による優先度通信による実証実験結果

実験ケース	MPEG2画像の表示速度(sec)	スループット(データ量/Sec)	パケットロス	映像品質	備考
1	3.12	275.61	0	良	
2	3.10	275.55	0	良	
3	3.10	273.14	0	良	
4	3.08	273.04	0	良	

なお、遅延時間については、以下の MPEG2 ビューアーの表示速度についての理論値（設計値）から算出できる。

【MPEG2 ビューアー表示理論値】

MPEG2 ビューアーは、以下の処理手順にて処理が行われる。

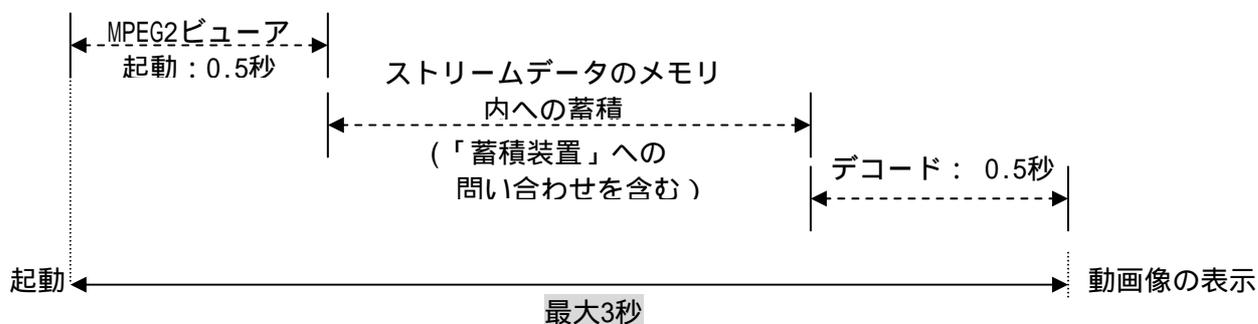


図 4-2-15 MPEG2 ビューアーの処理手順と処理時間

ストリームデータは、一定量データをメモリに蓄積しないと、デコード処理に進めないため、その処理時間は特に時間がかかる。よって、このデータ量はコンテンツのビットレートに関係なく一定値のため、ビットレートが高いコンテンツでは再生までの時間が早く、ビットレートが低いコンテンツでは再生までの時間が遅くなる関係にある。

よって、この理論値から遅延時間を算出すると、各実験ケースにおける遅延時間は、以下表 4-2-10 のとおりになる。

表 4-2-10 各実験ケース毎の遅延時間

実験ケース	MPEG2画像の表示速度(sec)	MPEG2ビューアー理論値	遅延時間sec	備考		
1	Diffserv 及び MPLS による優先度を設定しない場合	ユニキャスト	3.12	3.00	0.12	
2		マルチキャスト	3.10	3.00	0.10	
3	Diffserv 及び MPLS による優先度を設定した場合	ユニキャスト	3.10	3.00	0.10	
4		マルチキャスト	3.08	3.00	0.08	

以上のことから、Diffserv 及び MPLS により優先度を設定したネットワークの通信品質の優位性が認められ、かつネットワークシステム全体で流れるパケットが少ない場合（3校間での3次元VRシステムにおいてマルチキャストによる通信時）に更にその優位性が増す。当然このことながら、映像品質においても良好な結果が得られることが言える。

考察

本実証実験において使用した MPEG2 の動画像は、転送レートが 2Mbps のものを主に使用した。パケットロス、映像品質の比較検証のために 6Mbps の動画像においても実験を行ったが、映像の劣化は見受けられなかった。

これは、本実証実験において使用した MPEG2 の動画像が、本実験ネットワークシステムにおいて十分な帯域を確保されているからと言える。特に本実証実験において設定した Diffserv 及び MPLS の優先度設定は、図 4-2-16 に示すとおり、山梨県立科学館と岐阜県大垣市立北小学校との間を 8Mbps で帯域保証した仮想専用回線と形成している。そのため、転送レートが 2MHz、および 6MHz の動画像を転送しても十分な帯域が確保されているため、通信品質への影響は少ないと云える。

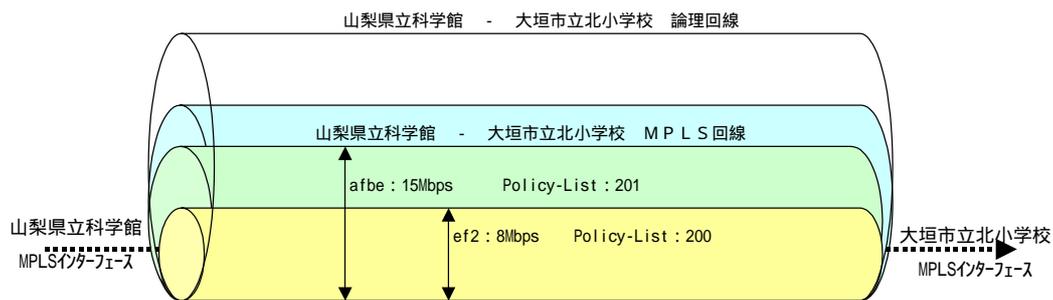


図 4-2-16 Diffserve、MPLS 設定概念図

また、本実験ネットワークシステムが持つキャパシティは、ギガビットで構成されているため、転送レートが 2Mbps、および 6Mbps の動画像を本実験ネットワークシステム上に流しても、その影響度は少ないと考える。

(3) 地域 IX による通信
 実証実験結果

表 4-2-9 に実証実験のケース 1 とケース 2 におけるスループットの比較表を示す。この表 4-2-11 から次のことが言える。

- ・ 地域 IX が存在しない場合（他地区で折り返す場合）、NNS に設置してある中継装置（IX5020）の論理インターフェース：vlan7 には、山梨県立科学館以外からのパケットが集中する場合がある。（図 4-2-17）
- ・ そのため、中継装置（IX5020）の論理インターフェース：vlan7 のスループットは、その変動幅も大きい。

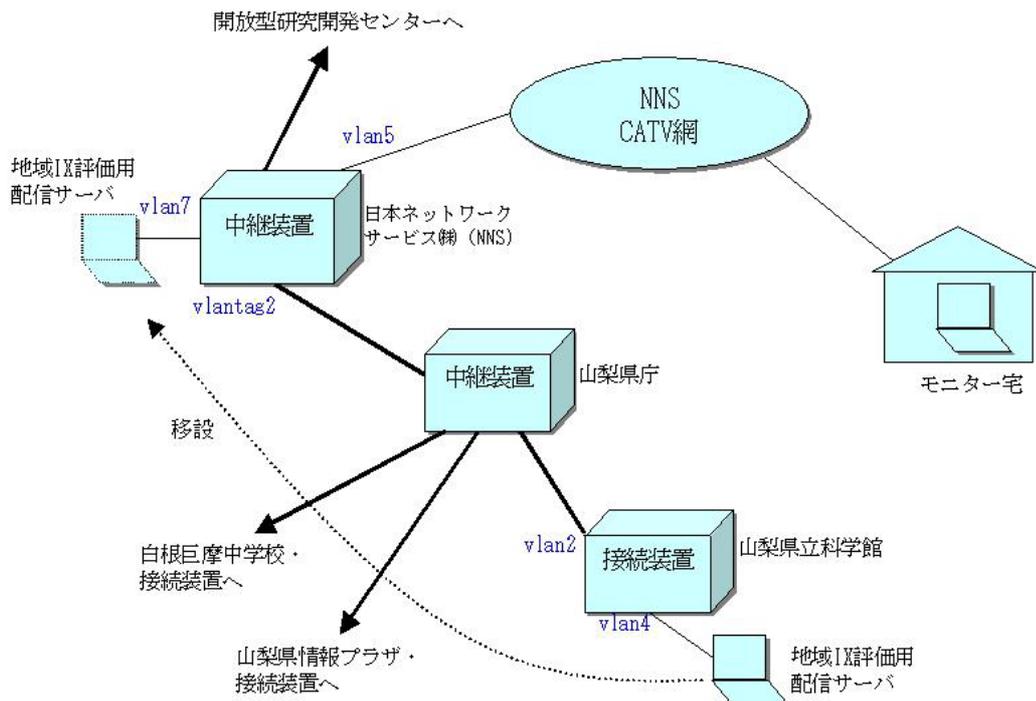


図 4-2-17 地域 IX 実証実験 接続装置間インターフェース概略図

- ・ 地域 IX が存在する場合（地域内で折り返す場合）、NNS に設置してある中継装置（IX5020）の論理インターフェース：vlan7 は、地域 IX 評価用配信サーバ以外のパケットは存在することはありえない。（図 4-2-17）

表 4-2-11 スループットの比較

	地域IXが存在しない場合の実験結果	地域IXが存在する場合の実験結果
	スループット (データ/秒)	スループット (データ/秒)
1	282.88	- - -
2	999.03	- - -
3	667.87	- - -
4	278.75	- - -
5	276.37	- - -
6	277.20	274.25
7	275.95	274.47
8	277.68	274.10
9	275.92	274.32
10	277.47	265.58
11	275.88	265.60
12	278.75	274.10
13	276.70	274.23
14	276.97	265.62
15	275.93	274.28
平均	351.56	271.66
MAX	999.03	274.47
MIN	275.88	265.58
変動幅	723.15	8.88

よって、表 4-2-11 の変動幅が示すとおり、地域 IX が存在したほうが、安定したスループットが得られることが確認できる。

しかしながら、地域 IX が存在していても、遅延時間の指標となる MPEG2 画像の表示速度のバラつき、および映像の劣化が発生した。そのため、モニター宅のモニター装置 B を日本ネットワークサービス㈱に設置した中継装置 (IX5020) の配下に設置し、遅延時間の指標となる MPEG2 画像の表示速度のバラつき、および映像の劣化について、以下の追加検証 (ケース 3 およびケース 4) を行った。その検証結果を以下に示す。

A) ケース 3

検証条件

- ・ 地域 IX が存在しない場合 (地域 IX 評価用サーバを山梨県立科学館に設置)
- ・ 動画の転送速度: 2Mbps
- ・ モニター装置 B を日本ネットワークサービス㈱に設置

上述の検証条件により、MPEG2 画像の表示までの速度、および映像品質について検証を行い、その結果を表 4-2-12 に示す。

表 4-2-12 地域 IX が存在しない場合の検証結果

回数	MPEG2画像の表示までの速度 (Sec)	モザイク画像の出現	映像品質	備考
1	3.38	0	良	
2	3.44	0	良	
3	3.43	0	良	
4	3.34	0	良	
5	3.31	0	良	
6	3.20	0	良	
7	3.31	0	良	
8	3.32	0	良	
9	3.22	0	良	
10	3.31	0	良	
平均	3.33	0	-	

B) ケース 4

検証条件

- ・ 地域 IX が存在する場合（地域 IX 評価用サーバを N N S に設置）
- ・ 動画の転送速度：2Mbps
- ・ モニター装置 B を日本ネットワークサービス(株)に設置

上述の検証条件により、MPEG2 画像の表示までの速度、および映像品質についての検証を行い、その結果を表 4-2-13 に示す。

表 4-2-13 地域 IX が存在する場合の検証結果

回数	MPEG2画像の表示までの速度 (Sec)	モザイク画像の出現	映像品質	備考
1	3.19	0	良	
2	3.22	0	良	
3	3.35	0	良	
4	3.35	0	良	
5	3.28	0	良	
6	3.34	0	良	
7	3.35	0	良	
8	3.37	0	良	
9	3.40	0	良	
10	3.38	0	良	
平均	3.32	0	-	

上述のケース 3 およびケース 4 の実験結果から、MPEG2 画像の表示までの速度のバラつき、および映像の劣化が無いことが確認できた。よって、ケース 1 およびケース 2 の検証で生じていた MPEG2 画像の表示までの速度のバラつき、および映像のこま落ち等の現象は、日本ネットワークサービス(株)の C A T V 網のネットワーク (CCNet) 上で発生していることがわかった。

考察

別途、調査したところ日本ネットワークサービス(株)の C A T V 網のネットワーク (CCNet) は、最大 2.5Mbps の帯域を持つベストエフォート型のネットワークであることがわかった。よって、転送速度：2Mbps の動画をこのネットワーク上に流すには帯域不足に陥る場合があり、これにより遅延時間のバラつき、および映像の劣化が発生していたと思われる。

よって、逆に帯域補償が十分になされているネットワークであれば、地域 IX が存在する場合（地域内で折り返す場合）のほうが、安定したスループットが得られ、遅延時間も安定的に短く、かつパケットロスも少ない、最適なネットワークシステムを構成することが可能になる。

3 その他（技術的）

3.1 結果と改善点

(1) 結果

技術的には、以下の検証結果が得られた。

遠隔地の複数拠点を広帯域ネットワークで結び、IPv6 マルチキャストを使用して、CCD カメラから取り込んだステレオ映像、双方向音声、リアルタイム 3D コンピュータグラフィックスによる立体視、3D 操作デバイスによる操作を同時に動作させてバーチャル空間を共有することが、ほぼ実用に耐えることが検証できた。

しかしながら、現状のシステム構成では、以下に述べる幾つかの問題点もあり、今後の課題となった。

- a カメラ映像については安定した運用が可能な更新レートの上限が、事前検証より、約 7 フレーム/Sec 程度であることがわかった。(3.2 項に詳細を記述)
- b 実証実験では、前述 a 項により各校ともに、カメラ画像の更新レートを 5 フレーム/Sec で実施したが、スムーズな動画像とはいたなかった。
- c 検証時にカメラ画像の更新が、時おり遅延する現象がみられた。

Diffserv および MPLS により優先度を設定した場合、他の通信よりも優位性があることが検証できた。また地域 IX を構築することにより、地域内のトラフィックを押さえられ、かつスループット等の性能が向上することも確認できた。

(2) 改善点

以上の結果および検証過程で気づいたことを踏まえて、いくつかの技術上の改善点を検討する。

マルチキャストの利点の確立

いくつかの実験結果から、現在のシステム構成では、マルチキャストがユニキャストに対して明らかに優位である、という結果が得られなかった。むしろ、ほとんど同じか、場合によってはユニキャストのほうが有効である場合も見受けられた。ネットワーク構成や、使用する機器の組み合わせ、およびソフトウェアの通信処理について、再検討する余地があると思われる。

カメラ映像の品質向上

一応実用に使えるレベルに到達したとはいえ、カメラ映像の品質はコンピュータグラフィックス(CG)映像と合成して表示すると、解像度・更新レート・描画の安定性において、まだまだ見劣りすることが否めない。これは実写映像の場合、画像データそのものを配信しなければならないため、通信データ量が CG に比べて非常に大きいためである。

今後、ネットワーク帯域の向上、機器の進歩によってハードウェア面での環境改善は急速に進むと考えられるが、画像データの圧縮・解凍、配信方法、および MPEG2 の採用などソフトウェア面での改良も重要である。

拠点数の増大への対応

今回の検証に参加した拠点は、4ヶ所にとどまった。しかし、今後このプロジェクトを広く展開していくに従って、参加拠点数が増大していくのは目に見えている。

また、参加拠点数が増大すれば、今以上に多様なネットワーク環境に対応していかなければならない。

このような状況に迅速に対応するには、遠隔地間に実際に赴いて行うテストだけでは限界がある。想定される状況に柔軟に対応できるテスト方法を早期に確立する必要がある。

システムの操作性の向上

拠点数の増大とともに問題になるのが、操作性の向上である。学校等に設置した場合、先生方が特別な知識を必要とせず、運用できることが望ましい。本システムでは、操作性も意識した形で構築したが、幾つかの課題も残った。

システムの小型化、収納性の向上と可搬性の向上

本実証実験で最初に苦労した点は、4校ともに設置場所の特定であった。傾斜型スクリーンも含め、ほぼ、常設を必要とする大型なシステムなため、その設置場所、および収納場所の確保を必要とした。

将来、ハードウェア面での進歩により小型化は進むと考えられるが、より一層の小型化、および収納性能の向上を目指したい。

また、コンテンツを外に求めることが考えられるため、可搬性を向上させ、屋外でのステレオ録画をも可能な機器構成を目指したい。

コンテンツ作成の向上

教育現場においてより多く利用してもらうためには、ソフトウェア面での向上、特に教育用コンテンツを多く開発し、かつコンテンツ作成を容易にする必要があり、今後はソフトウェア面での向上も目指したい。

3.2 事前検証「実証実験ネットワーク環境におけるマルチキャストのトラフィック解析」

(1) 実験目的

実証実験のネットワーク環境において、3次元VRシステムの実写映像配信における安定して動作可能な更新レート値を事前に見出すことを目的とし、本実証実験を実施する前に実施した。なお、トラフィック解析には、ネットワーク上を流れるパケットをキャプチャして解析を行った。

(2) 実験実施環境

実験実施場所

映像配信・受信実施拠点

- ・ 山梨大学附属小学校 プレイルーム
- ・ 山梨県白根巨摩中学校 美術室
- ・ 岐阜県大垣市立北小学校 コンピュータールーム
- ・ 岐阜県大垣市立北中学校 LL教室

パケットキャプチャリング実施拠点

- ・ 山梨県白根巨摩中学校 美術室

実験実施環境構成

3.2 項(1)項の実験を実施したネットワーク環境の構成を図4-3-1に示す。

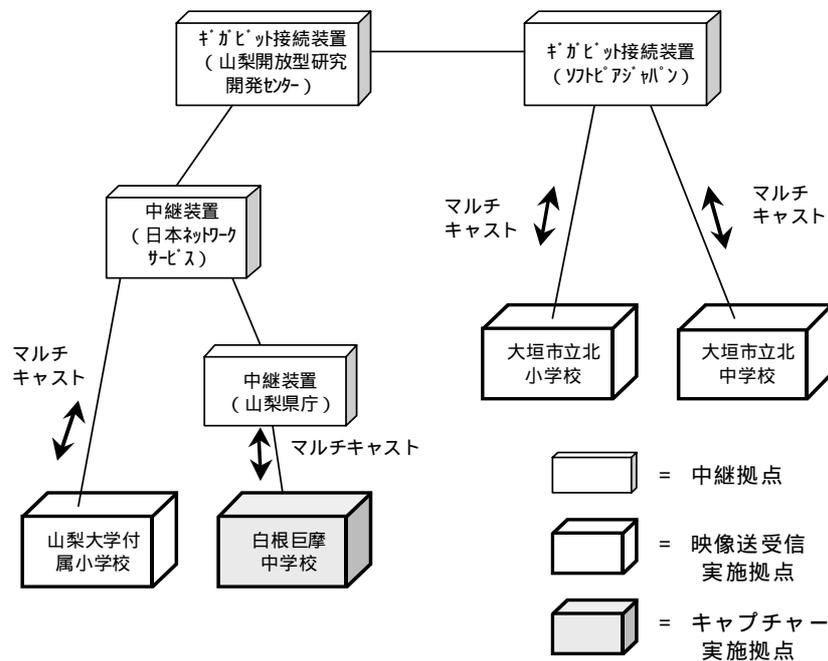


図4-3-1 実験実施ネットワーク環境構成図

パケットキャプチャー実施拠点の構成を図4-3-2に示す。

LAN アナライザにより全てのパケットをキャプチャするために、集線装置に100MbpsのダムHUBを使用する。

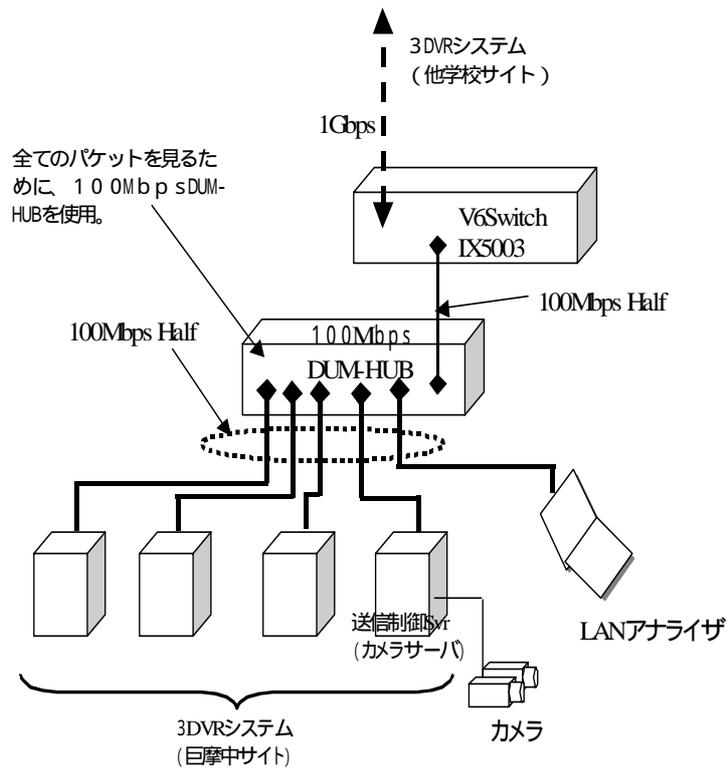


図 4-3-2 映像配信拠点の詳細

LAN アナライザ仕様

使用する LAN アナライザの仕様を以下に示す。

- ・ ノート PC : TOSHIBA DynaBook 4050X
- ・ NIC : Laned 16bit Ethernet PC Card LD-10/100CD
- ・ ソフトウェア : 「ソフトウェア LAN アナライザ PacMonPro V1.08」

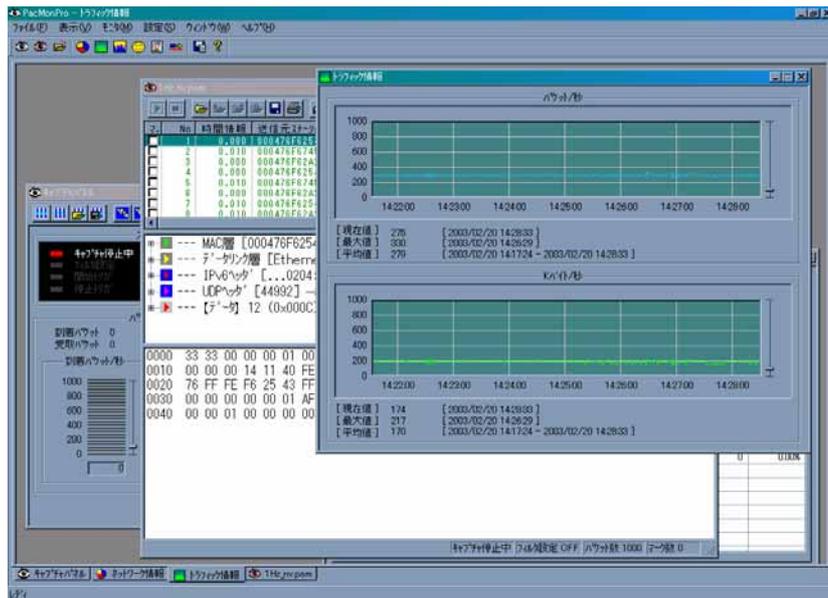


図 4-3-3 LAN アナライザ・ソフトウェア

(3) 実験実施結果

以下の2通りの条件で測定を行った。

送信レート：1フレーム/Sec、音声通信あり

送信レート：3フレーム/Sec、音声通信あり

各条件共通の設定を示す。

- ・映像送受信拠点：白根巨摩中学校、山梨大学附属小学校、大垣市立北中学校、大垣市立北小学校
- ・パケットキャプチャー拠点：白根巨摩中学校
- ・映像送信ソフトウェア：CamSvr_30k.exe
- ・送信パケットサイズ：30kbytes
- ・送信画像データ圧縮係数：75 JPEG サイズ：約10~18kbytes
- ・映像受信ソフトウェア：zp_30k.exe
- ・VRコンテンツ：Nasda11_IPv6_ff05

【実験結果】

送信レート：1フレーム/Sec、音声通信あり

・実施日時：2003.02.10 15:02~15:07

・キャプチャーパケット総数：1000パケット

表 4-3-1 送信レート1フレーム/Sec キャプチャーパケット

パケット No.	パケット 数	時刻	時間 [sec]	発信元MACアドレス	発信元V6アドレス	発信拠点	総時間 [sec]	
71		15:07:21	0.986	000476F69130	3FFE:516:39e0:1241::	白根巨摩中学校	0.13	
98	27	15:07:22	0.016	0.03				
167		15:07:22	0.227	00004C64F1CA	3FFE:516:39e0:1310::	山梨大学附属小学校		
194	27	15:07:22	0.257	0.03				
212		15:07:22	0.297	00004C64F1CA	3FFE:516:39e0:2210::104	大垣市立北中学校		
240	28	15:07:22	0.327	0.03				
261		15:07:22	0.357	00004C64F1CA	3FFE:516:39e0:2310::	大垣市立北小学校		
289	28	15:07:22	0.397	0.04				
513		15:07:23	0.028	000476F69130	3FFE:516:39e0:1241::	白根巨摩中学校		0.1
535	22	15:07:23	0.048	0.02				
620		15:07:23	0.258	00004C64F1CA	3FFE:516:39e0:1310::	山梨大学附属小学校		
642	22	15:07:23	0.278	0.02				
662		15:07:23	0.308	00004C64F1CA	3FFE:516:39e0:2210::104	大垣市立北中学校		
689	27	15:07:23	0.338	0.03				
711		15:07:23	0.378	00004C64F1CA	3FFE:516:39e0:2310::	大垣市立北小学校		
739	28	15:07:23	0.408	0.03				
962		15:07:24	0.019	000476F69130	3FFE:516:39e0:1241::	白根巨摩中学校		
989	27	15:07:24	0.049	0.03				

送信レート：3 フレーム/Sec、音声通信あり

- ・ 実施日時：2003.02.10 15:08～15:15
- ・ キャプチャーパケット総数：1000 パケット

表 4-3-2 送信レート 3 フレーム/Sec キャプチャーパケット

パケット No.	パケット数	時刻	時間 [sec]	発信元MACアドレス	発信元V6アドレス	発信拠点	総時間 [sec]	画像フレーム
63		15:14:41	0.368	00004C64F1CA	3FFE:516:39e0:2210::10	大垣市立北中学校	0.300	
90	27	15:14:41	0.398					
111		15:14:41	0.438	000476F69130	3FFE:516:39e0:1241::	白根巨摩中学校		
138	27	15:14:41	0.468					
157		15:14:41	0.508	00004C64F1CA	3FFE:516:39e0:1310::	山梨大学附属小学校		
184	27	15:14:41	0.538					
247		15:14:41	0.709	00004C64F1CA	3FFE:516:39e0:2210::10	大垣市立北中学校		
274	27	15:14:41	0.739					
294		15:14:41	0.779	000476F69130	3FFE:516:39e0:1241::	白根巨摩中学校		
321	27	15:14:41	0.809					
337		15:14:41	0.849	00004C64F1CA	3FFE:516:39e0:1310::	山梨大学附属小学校		
364	27	15:14:41	0.879					
429		15:14:42	0.049	00004C64F1CA	3FFE:516:39e0:2210::10	大垣市立北中学校		
456	27	15:14:42	0.089					
462		15:14:42	0.089	00004C64F1CA	3FFE:516:39e0:2310::	大垣市立北小学校		
468	6	15:14:42	0.089					
480		15:14:42	0.119	000476F69130	3FFE:516:39e0:1241::	白根巨摩中学校		
507	27	15:14:42	0.159					
525		15:14:42	0.189	00004C64F1CA	3FFE:516:39e0:1310::	山梨大学附属小学校		
551	26	15:14:42	0.229					
	248							
609		15:14:42	0.4	00004C64F1CA	3FFE:516:39e0:2210::10	大垣市立北中学校		
636	27	15:14:42	0.43					
653		15:14:42	0.47	000476F69130	3FFE:516:39e0:1241::	白根巨摩中学校		
680	27	15:14:42	0.5					
701		15:14:42	0.54	00004C64F1CA	3FFE:516:39e0:1310::	山梨大学附属小学校		
728	27	15:14:42	0.57					
788		15:14:42	0.74	00004C64F1CA	3FFE:516:39e0:2210::10	大垣市立北中学校		
814	26	15:14:42	0.77					
832		15:14:42	0.81	000476F69130	3FFE:516:39e0:1241::	白根巨摩中学校		
859	27	15:14:42	0.84					
880		15:14:42	0.88	00004C64F1CA	3FFE:516:39e0:1310::	山梨大学附属小学校		
907	27	15:14:42	0.91					

【コメント】

キャプチャ総時間 1.6sec 中に、大垣市立北小学校がなぜか 1 画面も正常に取れていない。

大垣市立北中学校も 0.002sec ではあるが、1 秒間のサイクルに入っていない。

(4) 結果と考察

【実験結果】

送信レート1フレーム/Secでの送信時は、各サイトのパケットは正常であることを確認。

1フレーム(両眼データ)を送出するのに、およそ30mSec要している。(100Mbps)

よって4校では、およそ120mSecの時間を要する。

各サイトで送信レート3フレーム/Secでの送信時に、岐阜側の大垣市立北小学校のパケットロスが見られる。

送信レート3フレーム/Secでの送信時、1秒間あたりにカメラ画像データ(4校全て)が占める時間は、およそ300mSecであった。

【考察】

実際の実証実験システムでは、ダムHUBのところは、ギガ対応のL2-Switch(9006T)になるため、本結果より良い値が望める。

しかしながら、このL2-Switch(9006T)と上位のIPv6 Switch間は100Mbpsで接続されているため、他校サイトから送出パケットにより飽和することが考えられる。

また、他校サイトからのパケットには、カメラ画像データのパケットのほか、音声パケット、制御パケットが送出されているため、更なる条件の悪化も考えられるが、仮にカメラ画像のデータパケットだけと仮定した場合、1秒間に画像が更新されるフレーム数は、以下の計算式で求められる。

$$1000\text{mSec} \div 30\text{mSec} \div 3\text{校} = 11\text{フレーム}$$

スイッチの特性、及びネットワーク上の飽和特性を考慮した場合、60%程度と考えると、

$$11\text{フレーム} \times 60\% = \text{約}7\text{フレーム}$$

が、限界値と想定される。

4 空間把握における3D映像の有効性

4.1 実験要求事項

モニターを2つのグループに分け、同一の映像を一方のグループには立体映像で、他方のグループには通常の平面的な映像で提示する。その時点で各グループに対し、大きさを推定してもらい2Dと3Dで大きさの感じ方の違いを報告してもらおう(1回目のアンケート)。その後、グループを入れ替え同様のことを行う。そして2Dと3Dで大きさの感じ方の違いを報告してもらおう。そして、2Dと3Dを比較してもらった結果を報告してもらおう(2回目のアンケート)。以上の結果を集計し、立体映像による空間把握の容易性、正確性の評価を行う。

4.2 実験仕様、手順

図 4-4-1 に空間把握における 3D 映像の有効性実証実験の概略機器構成図を示す。

【実験仕様概要】

大垣北小学校に設定した傾斜型スクリーンにおいて、国際宇宙ステーションのバーチャルリアリティ映像を 3D (立体映像) および、2D (平面映像) で体験する。

各体験後、映像中の物体の大きさに関するアンケートを行い、結果を集計し評価する。

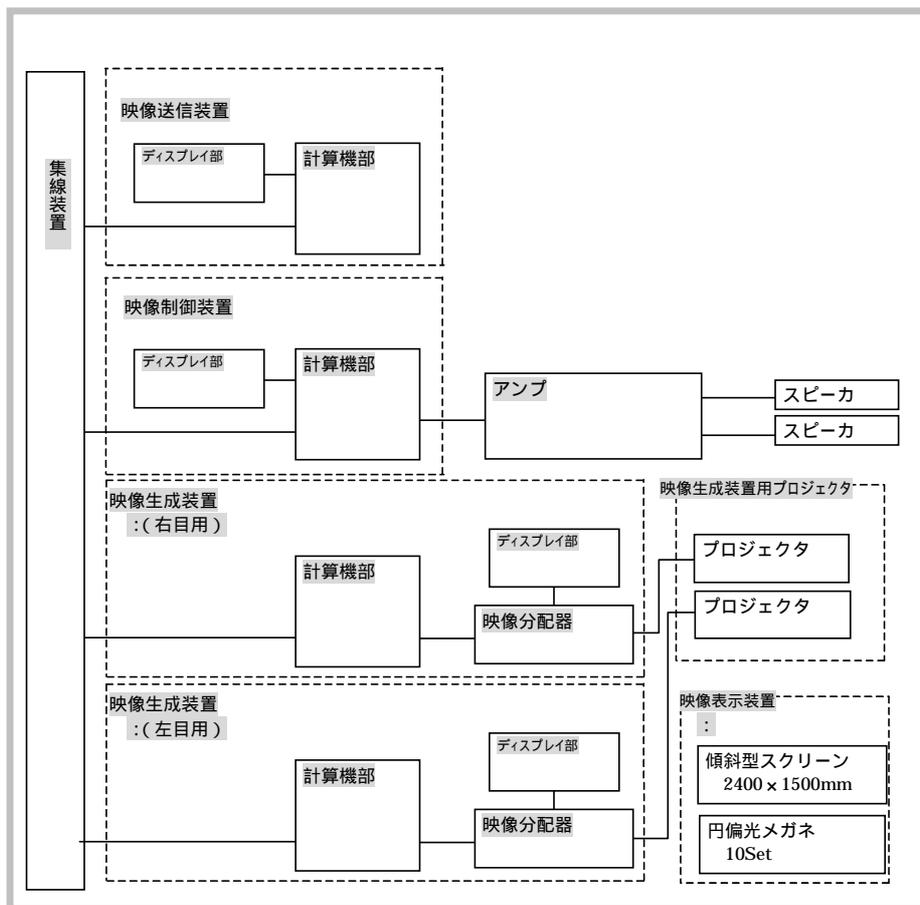


図 4-4-1 3D 映像の有効性実証実験概略機器構成図

【実験手順】

- ア. 被験者をグループ A、グループ B の二つに分ける
- イ. グループ A に円偏光メガネを掛け、傾斜型スクリーンの前で準備してもらう。
- ウ. 国際宇宙ステーションの 3次元バーチャルリアリティ映像コンテンツを起動し、3次元バーチャルリアリティ映像を立体視で閲覧してもらう。

I. 閲覧終了後、以下の内容のアンケートを実施。(1回目のアンケート)

3D映像の実証実験のアンケート項目1

(A)宇宙飛行士の身長(宇宙服も含めて)は何センチでしょう。

_____ c m

(B)宇宙飛行士の頭上にあったアームは、何メートルでしょう。

_____ m

- オ. 右目用の映像生成装置用プロジェクタのレンズに蓋をし、映像を消す。
- カ. 円偏光めがねを外し、再び、傾斜型スクリーンの前で準備してもらう。
- キ. 国際宇宙ステーションの3次元バーチャルリアリティ映像コンテンツを起動し、映像を閲覧してもらう。(立体視でない状態)
- ク. 閲覧終了後、以下の内容のアンケートを実施。(2回目のアンケート)

3D映像の実証実験のアンケート項目2

(C)宇宙飛行士の身長(宇宙服も含めて)は何センチでしょう。

_____ c m

(D)宇宙飛行士の頭上にあったアームは、何メートルでしょう。

_____ m

(E)国際宇宙ステーションの大きさはサッカーグラウンドぐらいですが、立体映像と平面画像のどちらが本物の大きさに見えましたか？

1. 立体映像 2. 平面映像 3. どちらも同じ

- ケ. グループBに円偏光メガネを掛けずに、傾斜型スクリーンの前で準備してもらう。
- コ. 国際宇宙ステーションの3次元バーチャルリアリティ映像コンテンツを起動し、映像を閲覧してもらう。(立体視でない状態)
- サ. 閲覧終了後、上記のアンケート項目1を実施。(1回目のアンケート)
- シ. 円偏光メガネを掛け、傾斜型スクリーンの前で準備してもらう。
- ス. 国際宇宙ステーションの3次元バーチャルリアリティ映像コンテンツを起動し、3次元バーチャルリアリティ映像を立体視で閲覧してもらう。
- セ. 閲覧終了後、上記のアンケート項目2を実施。(2回目のアンケート)

4.3 実験実施環境

- (1) 実験実施場所：岐阜県大垣市立北小学校 コンピュータールーム
- (2) 実験実施環境配置図

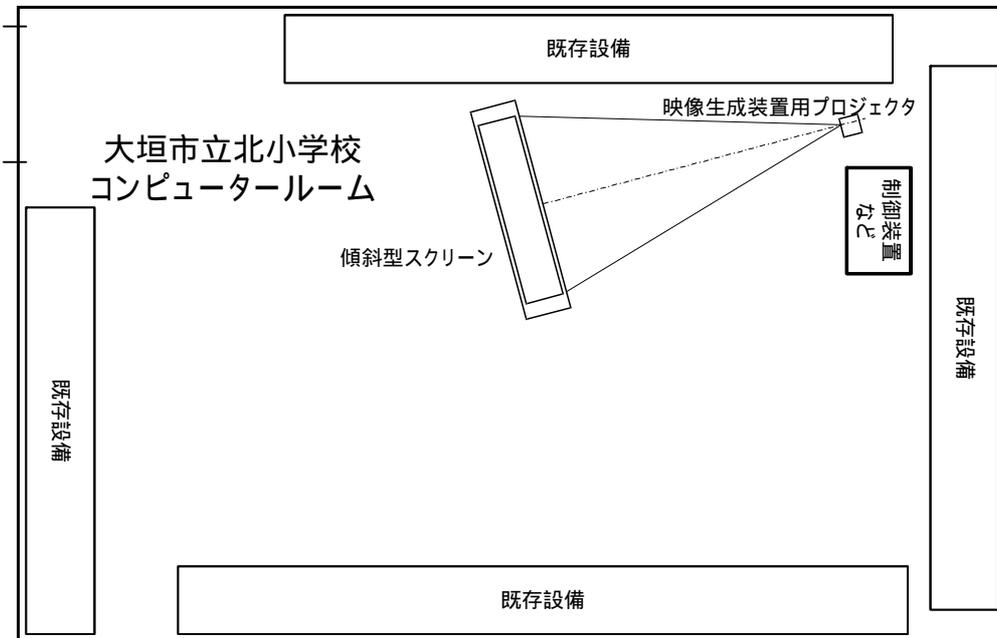


図 4-4-2 3D映像の有効性実証実験機器配置図

- (3) 被験者および人数
岐阜県大垣市立北小学校 児童 10人
- (4) 実験実施風景



写真 4-4-1 3D映像の有効性実証実験

4.4 実験実施結果

4.2 項I.およびサ.で行った3D映像の実証実験アンケート項目1の結果を以下に記す。グループAは立体映像を、グループBは平面映像を閲覧した。

(A)宇宙飛行士の身長に関する設問

【回答結果】

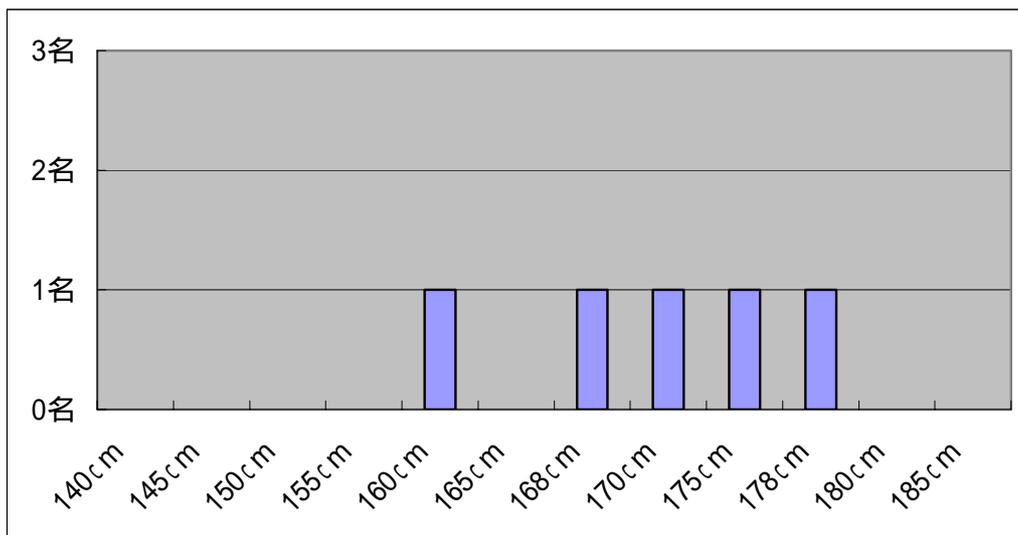


図 4-4-3 立体映像を閲覧したグループAの結果

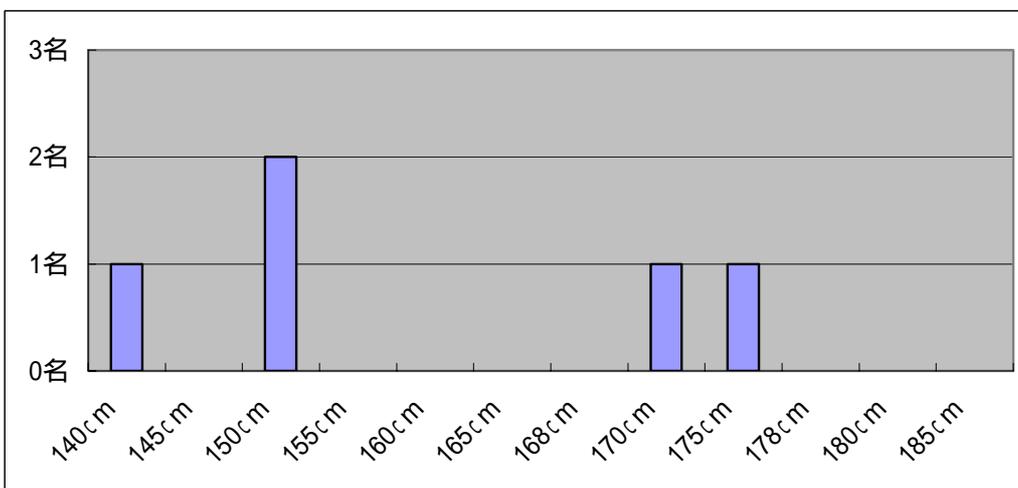


図 4-4-4 平面映像を閲覧したグループBの結果

(B)アームの長さに関する設問

【回答結果】

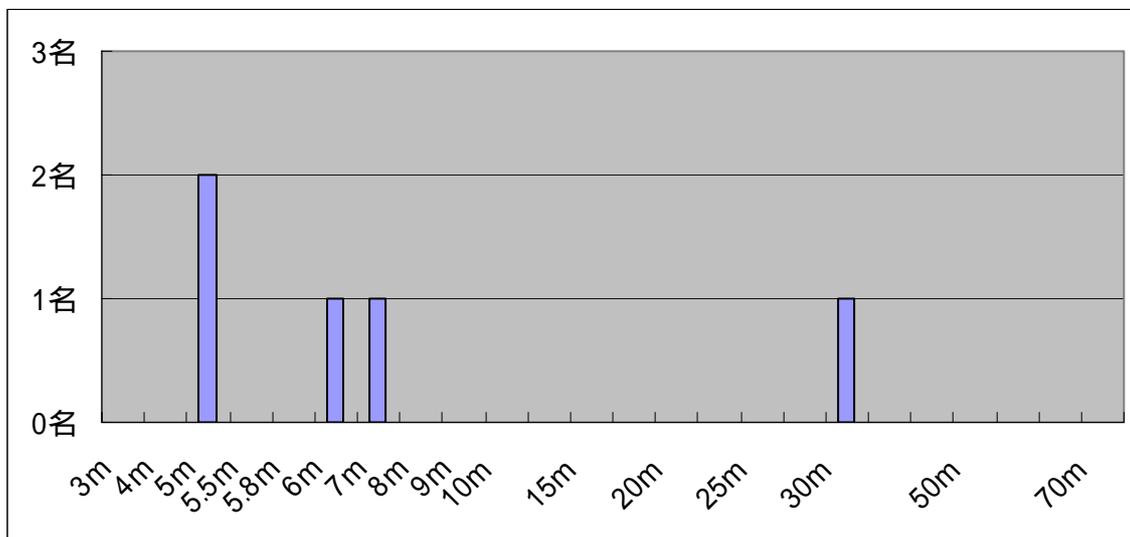


図 4-4-5 立体映像を閲覧したグループ A の結果

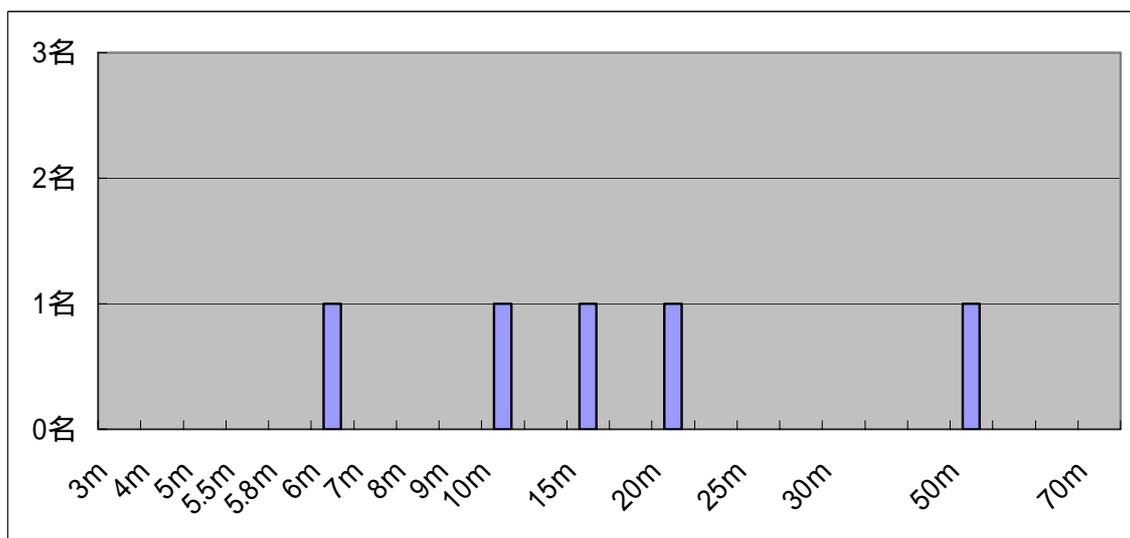


図 4-4-6 平面映像を閲覧したグループ B の結果

4.2 項ㄎ.およびㄌ.で行った3D映像の実証実験アンケート項目2の結果を以下に記す。グループAは平面映像を、グループBは立体映像を閲覧した。

(C)宇宙飛行士の身長に関する設問

【回答結果】

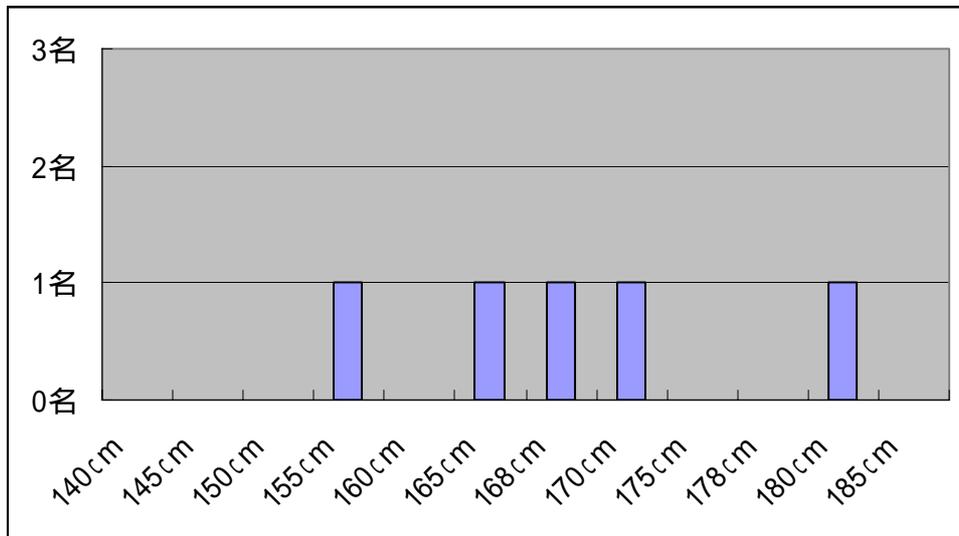


図 4-4-7 平面映像を閲覧したグループAの結果

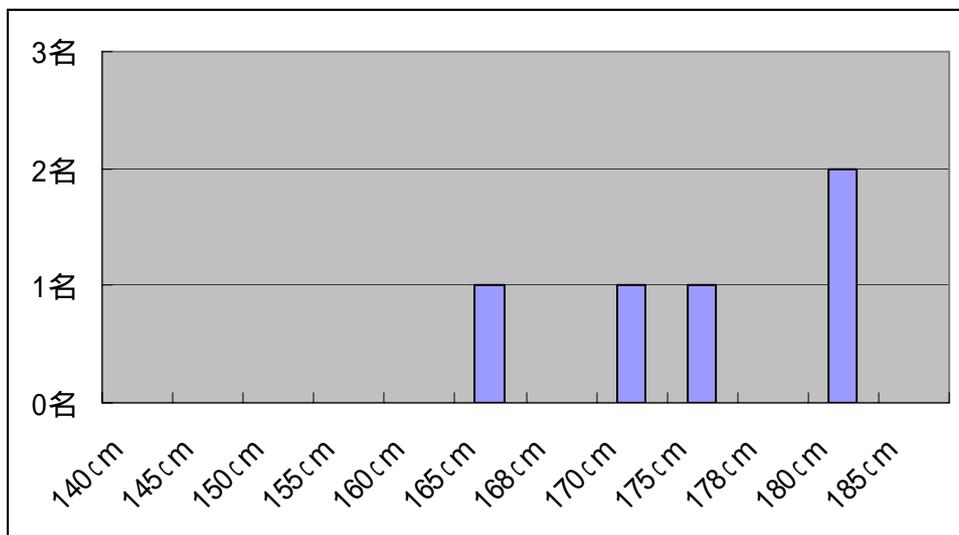


図 4-4-8 立体映像を閲覧したグループBの結果

(D)アームの長さに関する設問

【回答結果】

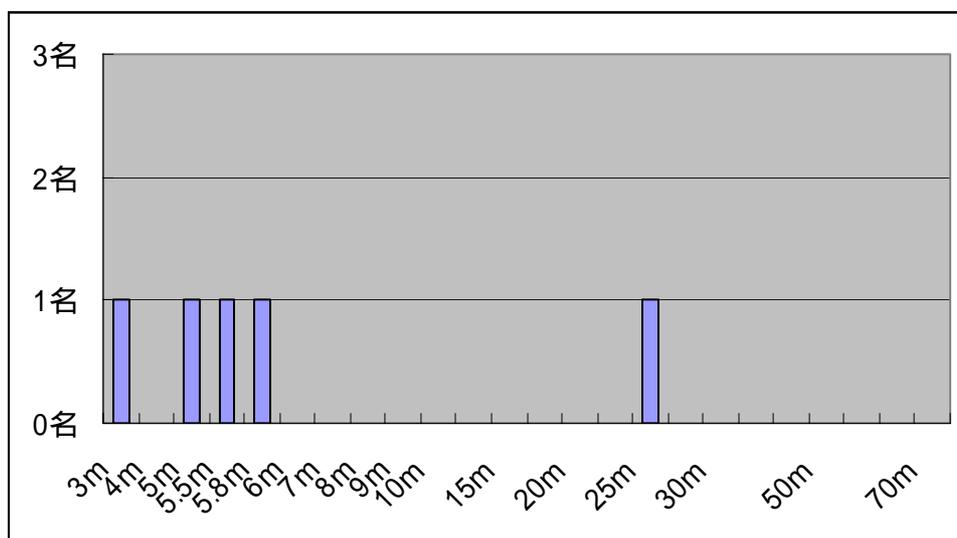


図 4-4-9 平面映像を閲覧したグループ A の結果

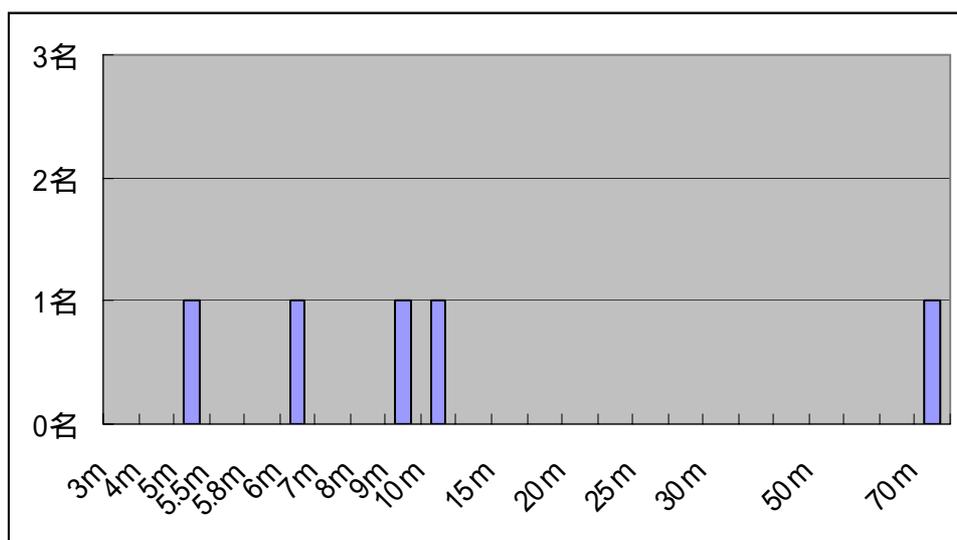


図 4-4-10 立体映像を閲覧したグループ B の結果

(E)国際宇宙ステーションの大きさに関する設問

【回答結果】

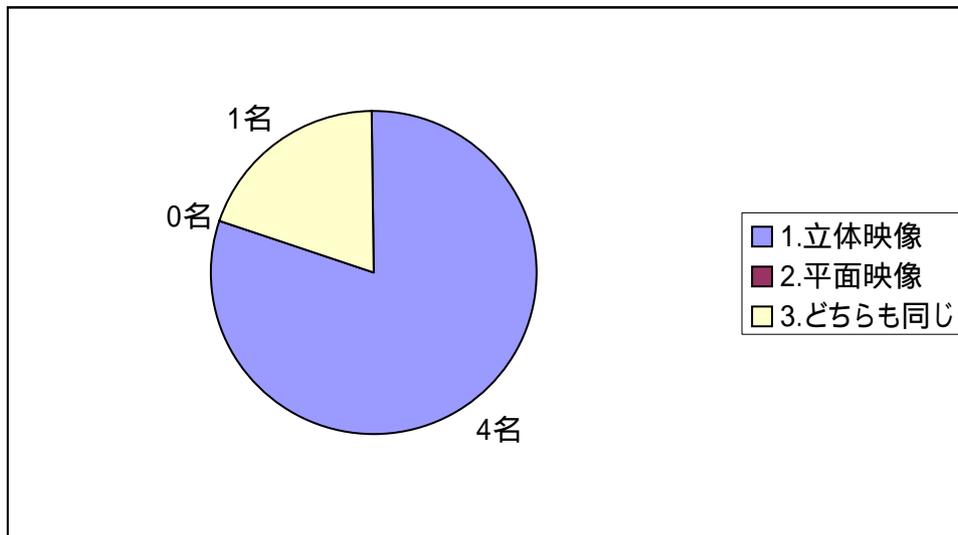


図 4-4-11 立体映像を先に関覧したグループAの結果

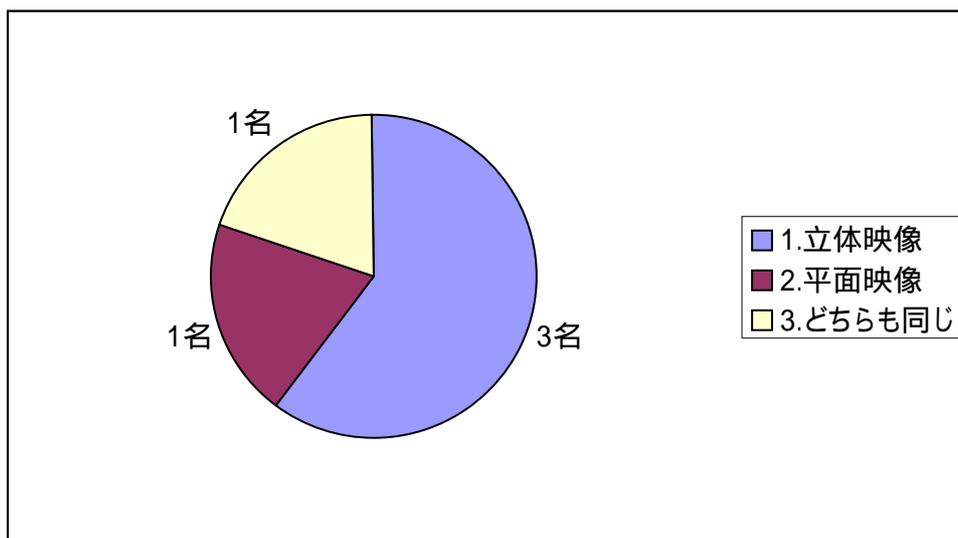


図 4-4-12 平面映像を先に関覧したグループBの結果

4.5 結果と考察

グループAとグループBとで1回目の宇宙飛行士の身長に関する回答結果を比較すると、立体映像を閲覧したグループAに比べ平面映像を閲覧したグループBは宇宙飛行士の身長を小さく感じていることがわかる。また、宇宙飛行士の宇宙服を含めた身長は180cmで設定されており、グループAの方がより正確に宇宙飛行士の身長を把握していることがわかる。

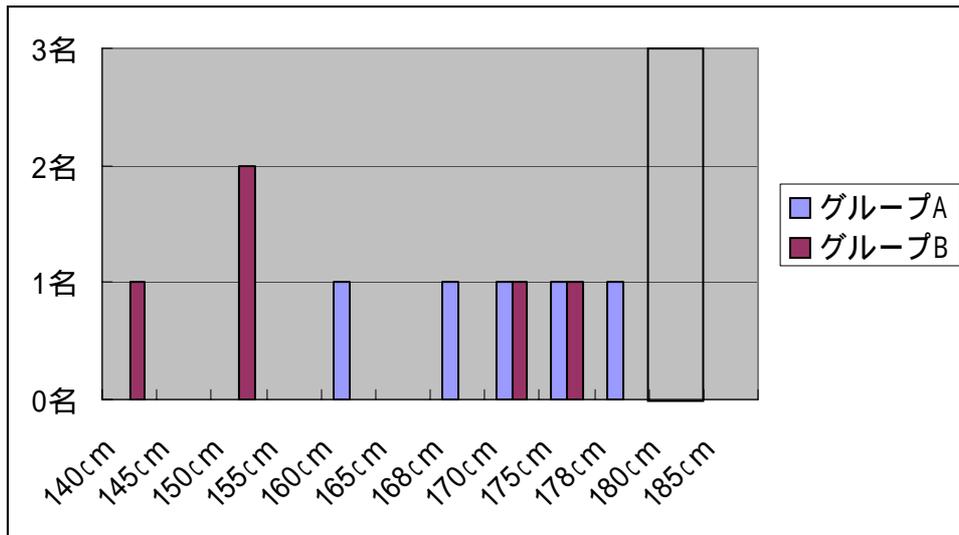


図 4-4-13 1 回目の宇宙飛行士の身長に関する回答の比較

また、グループAとグループBとで1回目のアームの長さに関する回答結果を比較すると、立体映像を閲覧したグループAに比べ平面的な映像を見ているグループBはアームの長さを大きく感じていることがわかる。また、アームの長さは10mで設定されており、誤差5mの範囲に4名の回答のあるグループAの方がより正確にアームの長さを把握していることがわかる。

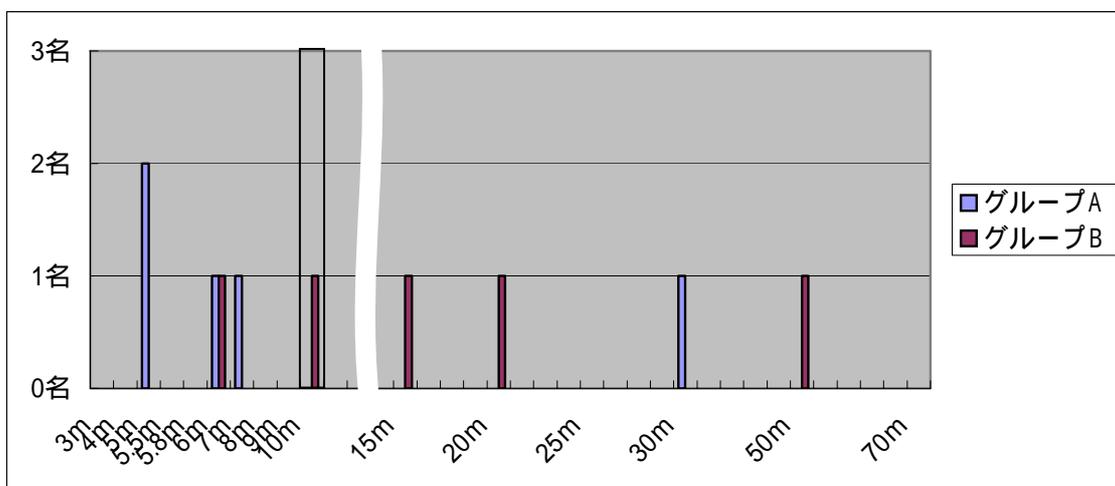


図 4-4-14 1 回目のアームの長さに関する回答の比較

グループAの宇宙飛行士の身長に関する1回目と2回目の回答結果を比較すると、ここでも、立体映像で閲覧した1回目の方が正確な回答が出ている。また、アームの長さに関する回答結果の比較も同様の結果である。

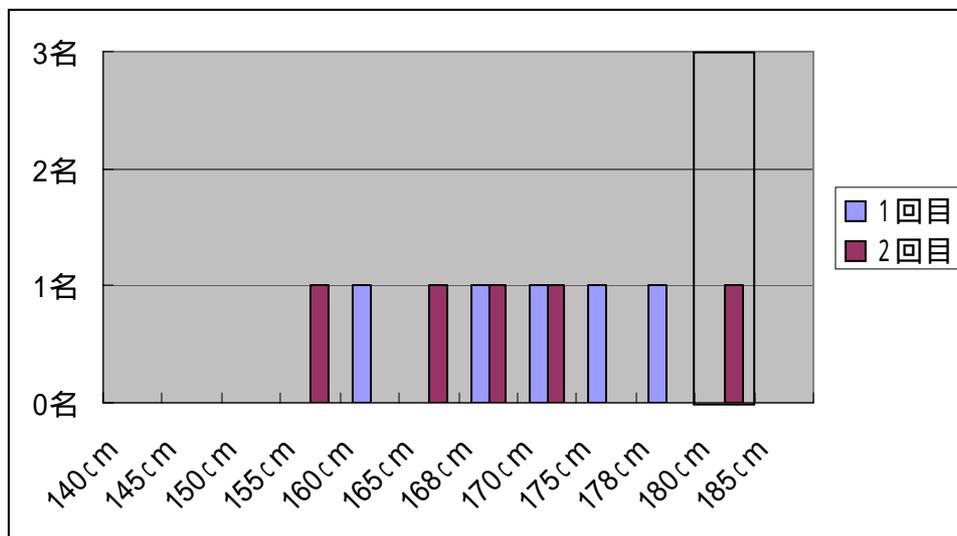


図 4-4-15 宇宙飛行士の身長に関する回答結果の比較

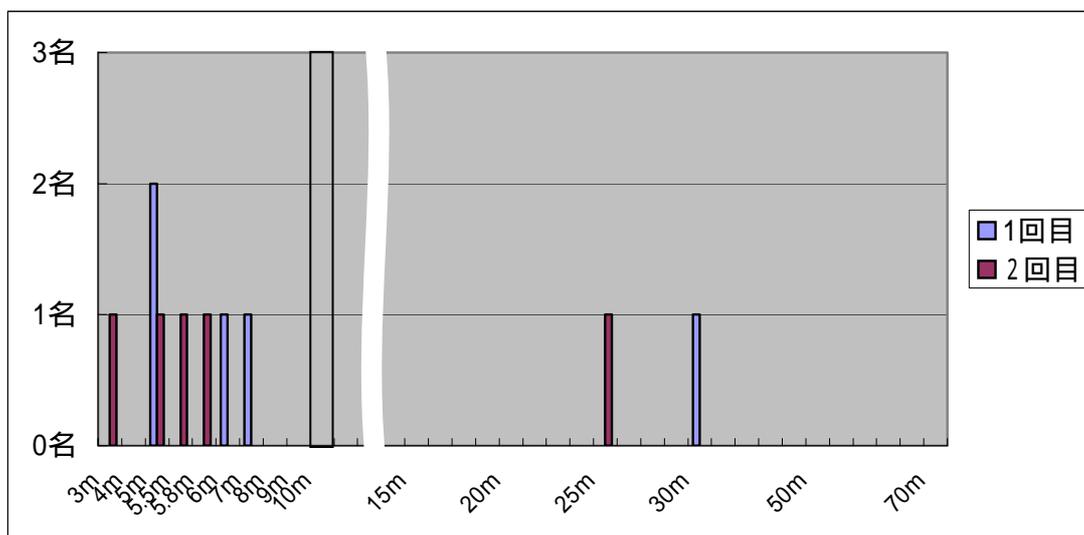


図 4-4-16 アームの長さに関する回答結果の比較

グループBについての宇宙飛行士の身長に関する1回目と2回目の回答結果の比較においても、立体映像を閲覧した2回目の結果の方が正確な回答である。

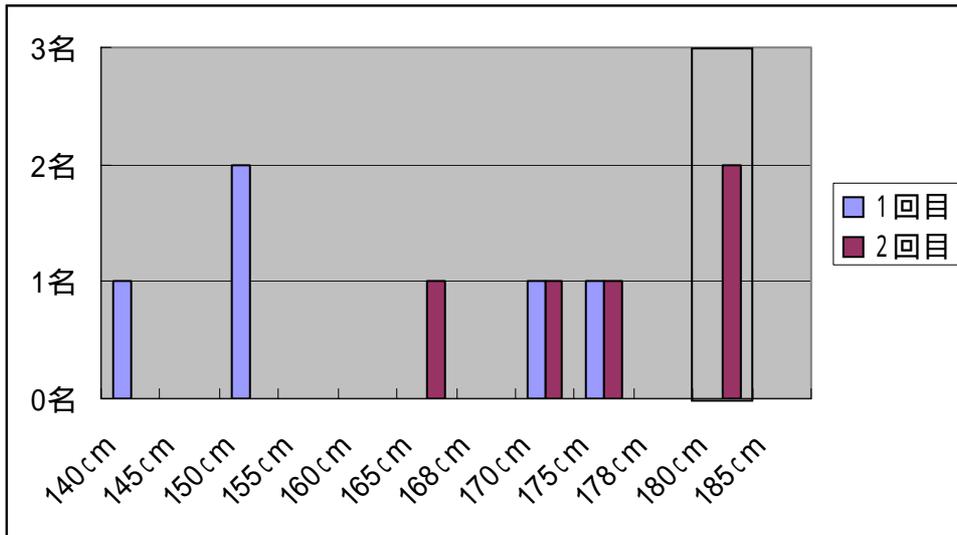


図 4-4-17 宇宙飛行士の身長に関する回答結果の比較(グループ B)

また、国際宇宙ステーションの大きさの回答結果でも立体映像のほうが本当の大きさに見えるという結果が出ており、空間把握において立体映像が有効であると考えられる。

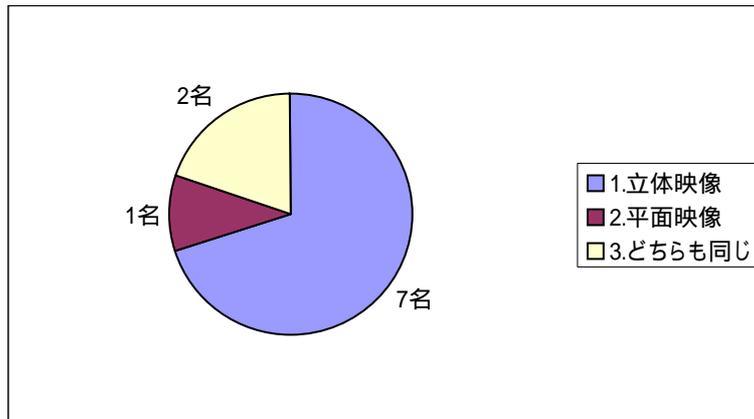


図 4-4-18 国際宇宙ステーションの大きさの回答結果 (グループ A とグループ B の合計)

5 傾斜型スクリーンの有効性

5.1 実験要求事項

通常の垂直設置型のスクリーンと下方視界を有効に使い高臨場感を与える傾斜型スクリーンに同一コンテンツを表示し、その臨場感に関する評価をモニターから聴取し、集計することにより評価を行う。

5.2 実験仕様、手順

図 4-5-1 に傾斜型スクリーンの有効性実証実験の機器構成図を、図 4-5-2 に機器配置図を示す。

【実験仕様概要】

大垣市立北小学校に設定した映像表示装置(傾斜型スクリーン)に隣接して、有効投影面積がほぼ同一(2400mm×1500mm)の垂直設置型のスクリーンを設置する。

傾斜型スクリーンにおいて、国際宇宙ステーションの3次元バーチャルリアリティ映像を表示、体験した後、垂直設置型のスクリーンにおいて同じ3次元バーチャルリアリティ映像を表示、体験する。

体験後、臨場感に関するアンケートを行い、結果を集計し評価する。

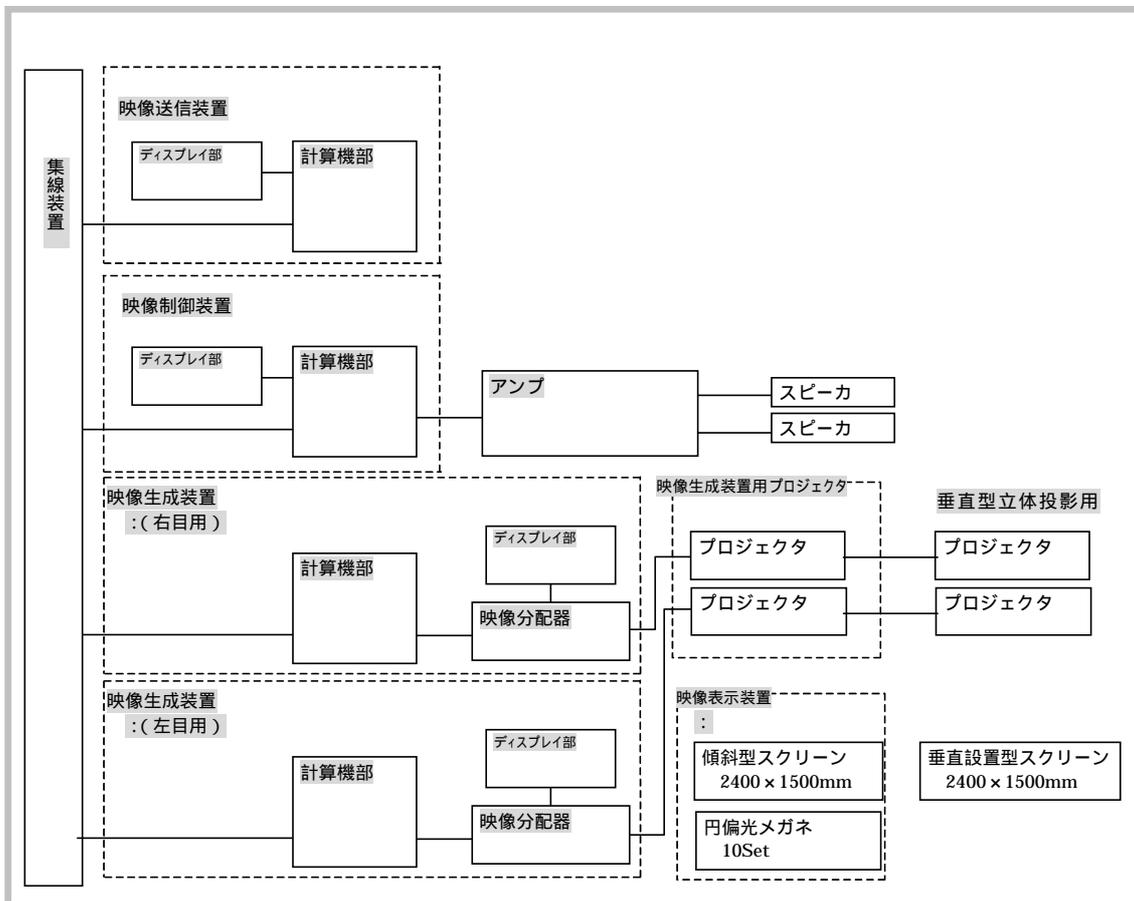


図 4-5-1 傾斜型スクリーンの有効性実証実験機器構成図

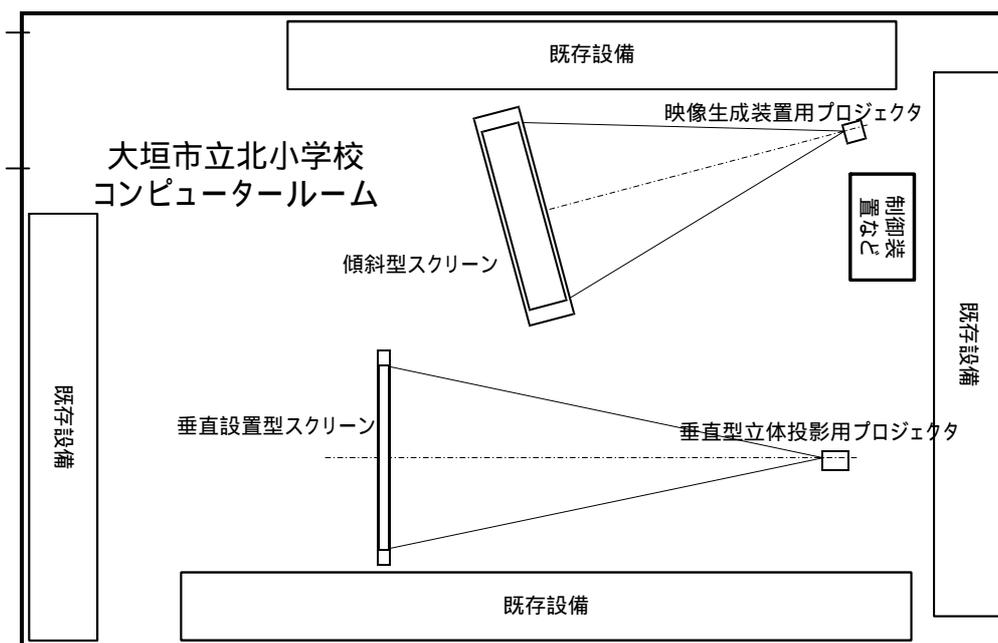


図 4-5-2 傾斜型スクリーンの有効性実証実験機器配置図

【実験手順】

- ア. 垂直設置型のスクリーンおよび立体映像投影用の右目用、左目用プロジェクタを有効投影面積が映像表示装置と同じ 2400mm × 1500mm になるように設置する。(図 4-5-3)



写真 4-5-1 垂直設置型スクリーンの設置

- イ. 映像生成装置用プロジェクタの映像アウトプット端子と垂直設置型スクリーン用のプロジェクタの映像入力端子を右目用、左目用ともに接続する。
- ウ. 被験者(大垣北小学校の児童)に円偏光メガネを掛け、傾斜型スクリーンの前で準備してもらおう。
- エ. 傾斜型スクリーン用の国際宇宙ステーションの3次元バーチャルリアリティ映像コンテンツを起動し、3次元バーチャルリアリティ映像を閲覧してもらおう。
- オ. 終了後、被験者に垂直設置型スクリーンの前に移動してもらおう。
- カ. 次に垂直設置型スクリーン用の国際宇宙ステーションの3次元バーチャルリアリティ映像コンテンツを起動し、同様に3次元バーチャルリアリティ映像を閲覧してもらおう。
- キ. 以上、閲覧終了後、以下の内容のアンケートを実施。

傾斜型スクリーンの実証実験用アンケート項目

- (A) どちらのスクリーンが飛び出して感じましたか？
 1. 傾斜スクリーン 2. 垂直スクリーン 3. 同じ
- (B) どちらのスクリーンが奥行きを感じましたか？
 1. 傾斜スクリーン 2. 垂直スクリーン 3. 同じ
- (C) 2つのスクリーンを比較して、傾斜スクリーンの良いところはどんな点だと思えますか？(複数回答あり)
 1. スクリーンを見下ろす 2. 飛び出し感を感じる
 3. 奥行き感を感じる 4. その他 ()
- (D) 2つのスクリーンを比較して、垂直スクリーンの良いところはどんな点だと思えますか？(複数回答あり)
 1. スクリーンをまっすぐ見る 2. 飛び出し感を感じる
 3. 奥行き感を感じる 4. その他 ()
- (E) どちらのスクリーンが好きですか？
 1. 傾斜スクリーン 2. 垂直スクリーン 3. 同じ
 その理由は？()

5.3 実験実施環境

- (1) 実験実施場所：岐阜県大垣市立北小学校 コンピュータールーム
- (2) 実験実施環境配置図

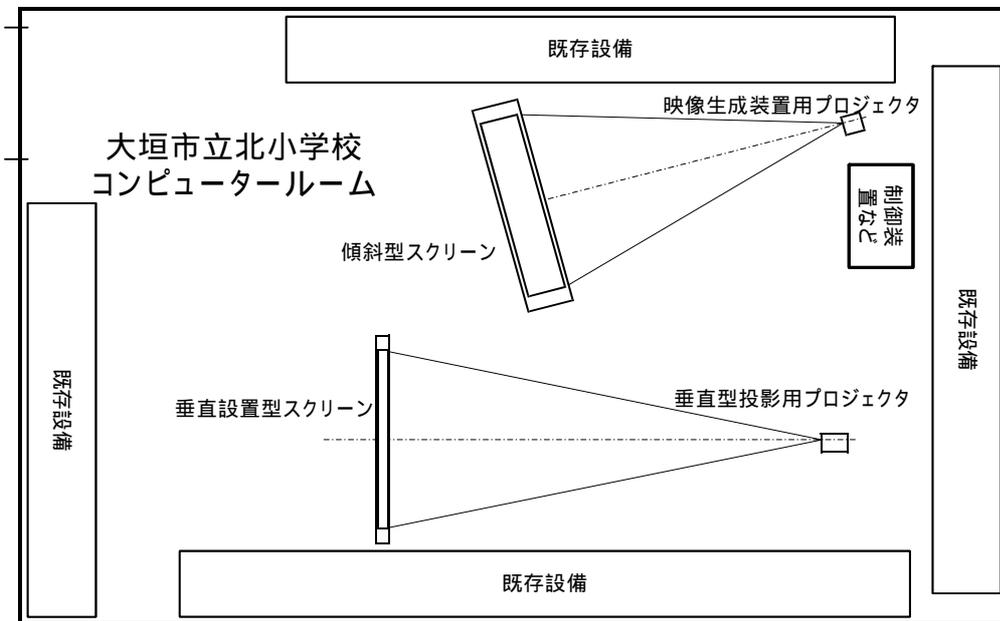


図 4-5-3 傾斜型スクリーンの有効性実証実験機器配置図

- (3) 被験者および人数
岐阜県大垣市立北小学校 児童 11人
- (4) 実施風景

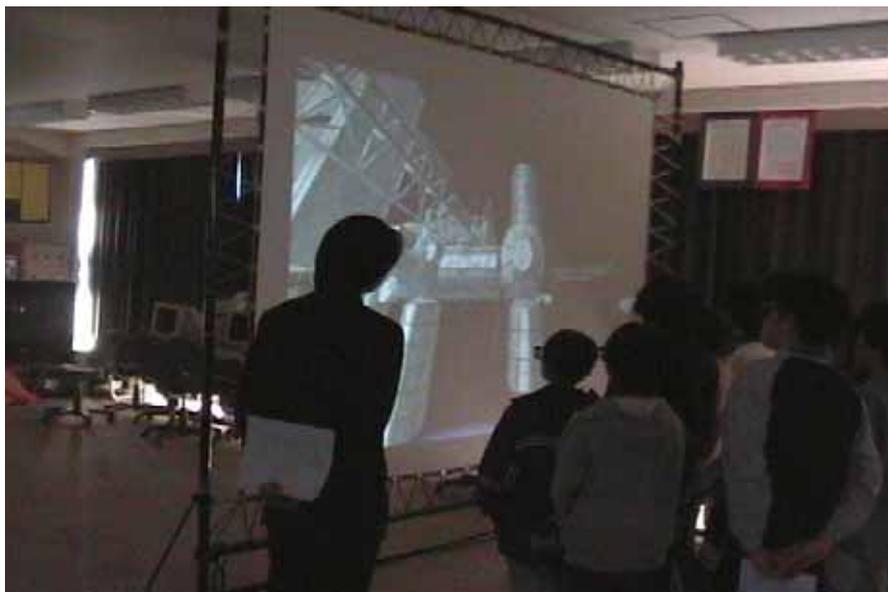


写真 4-5-2 垂直設置型スクリーンの実証実験

5.4 実験実施結果

5.2 項 \ddagger .で行った傾斜スクリーンの実証実験アンケートの結果を記す。

(A)映像の飛び出し感の設問

【回答結果】

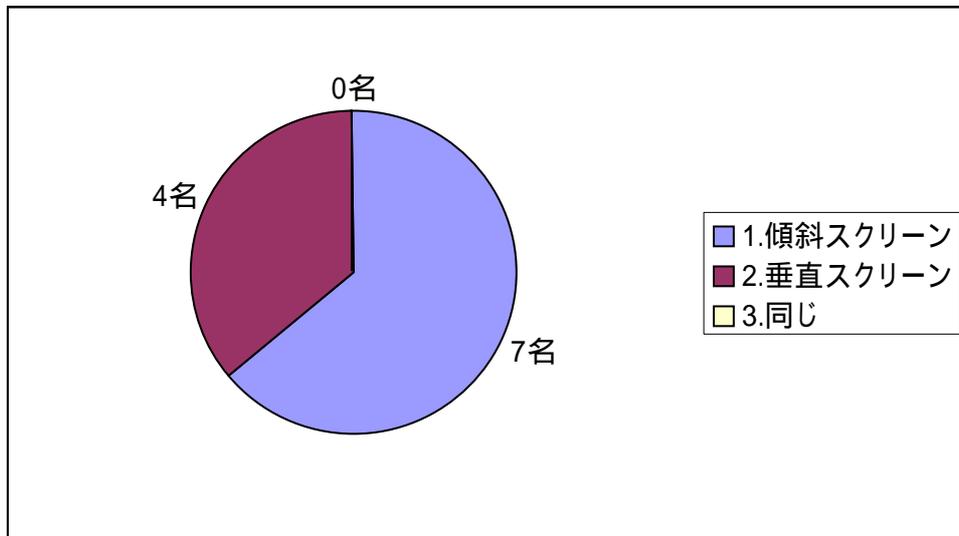


図 4-5-4 映像の飛び出し感の回答結果

(B)映像の奥行き感の設問

【回答結果】

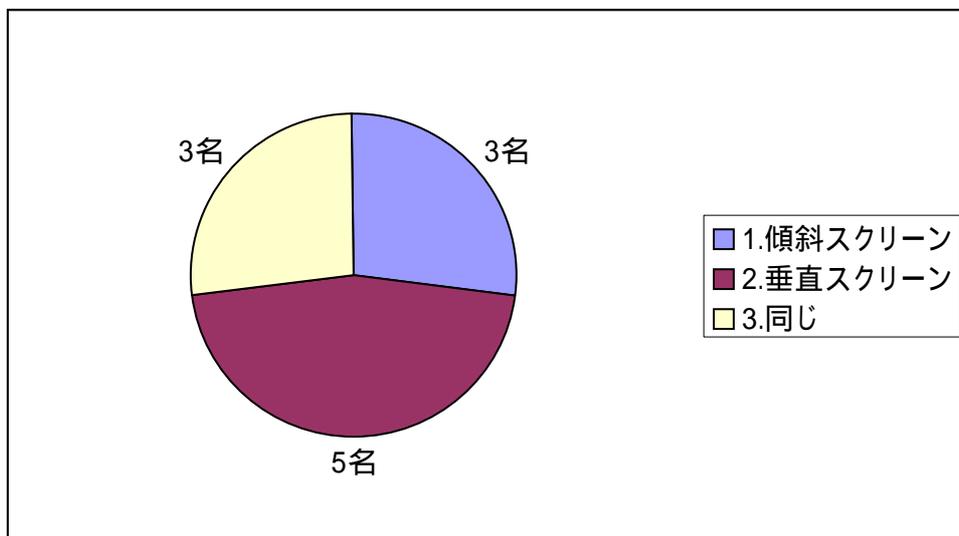


図 4-5-5 映像の奥行き感の回答結果

(C) 傾斜型スクリーンの長所の設問

【回答結果】

複数回答あり 総回答数 19

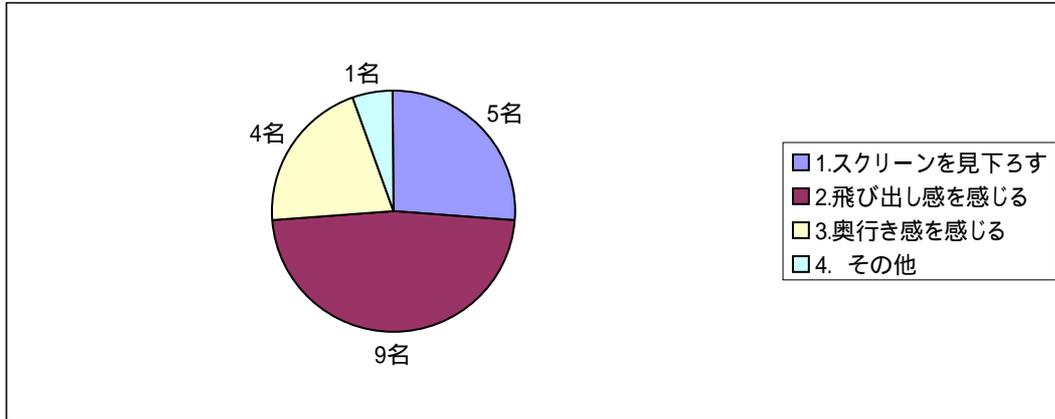


図 4-5-6 傾斜スクリーンの長所の回答結果

その他の具体的記述として以下の回答があった

- ・画面がきれい

(D) 垂直設置型スクリーンの長所の設問

【回答結果】

複数回答あり 総回答数 13

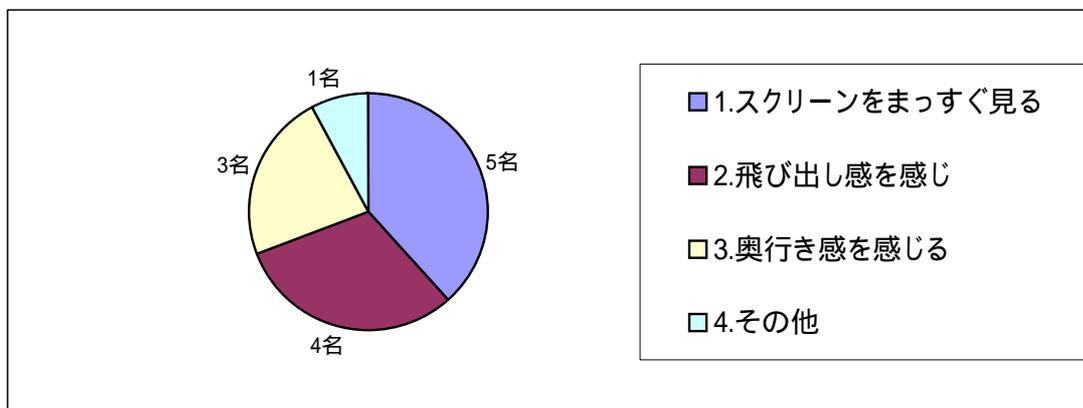


図 4-5-7 垂直設置型スクリーンの長所の回答結果

その他の具体的記述として以下の回答があった。

- ・物が高く見ることができる。

(E)スクリーンの好みの設問

【回答結果】

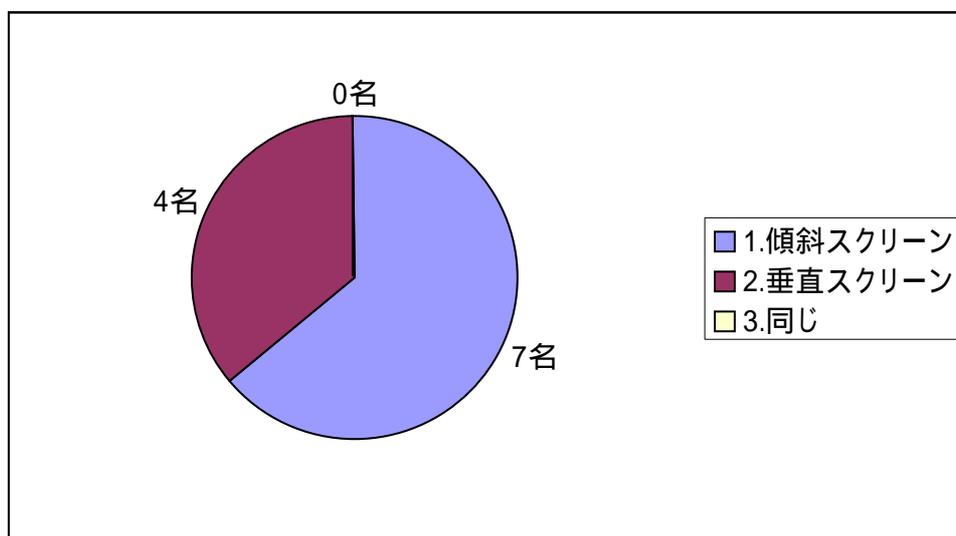


図 4-5-8 スクリーンの好みの回答結果

好きな理由の回答を具体的記述のまま記す。

傾斜スクリーン

- ・動いている感じがよくわかるから。
- ・垂直スクリーンよりは、高さをあまり感じないので、高い所が苦手でもある程度耐えられる。
- ・垂直は高くて見上げるのが大変。
- ・自分が吸い込まれるような感じがあって立体感もあったから。
- ・見下ろせるので、下の方もしっかり見えるし、画像がよかった。
- ・立体感があって楽しいから。
- ・はっきりと見えて見下ろせるから。

垂直スクリーン

- ・奥行があり見やすい。
- ・飛び出しているようだったから。
- ・垂直の方が高くて見やすかったです。
- ・少しつらいけど、飛び出しているし、奥行があるように見えて楽しいから（どっちも好き）

5.5 結果と考察

5.4 項の(A)映像の飛び出し感の回答結果見ると、被験者は、傾斜型スクリーンで飛び出し感をより感じていることがわかった。

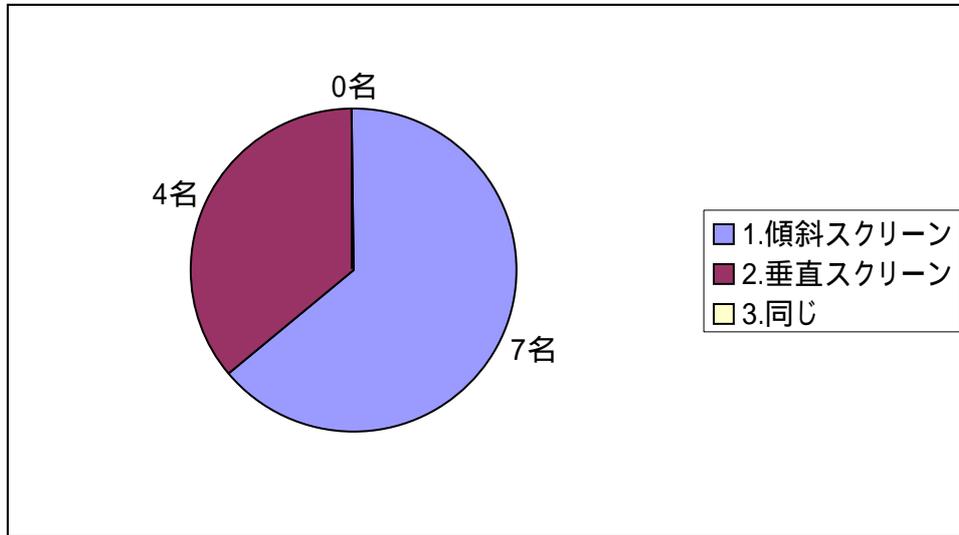


図 4-5-9 映像の飛び出し感の回答結果

これは、傾斜型スクリーンでは、スクリーンの傾斜により下方の視野角が大きく確保され、立体視が正常に行われるのに比べ、垂直設置型スクリーンでは、下方視界が狭く物体が切れてしまい、立体視が正常に行われなためと思われる。概念図を図 4-5-10 に示す。

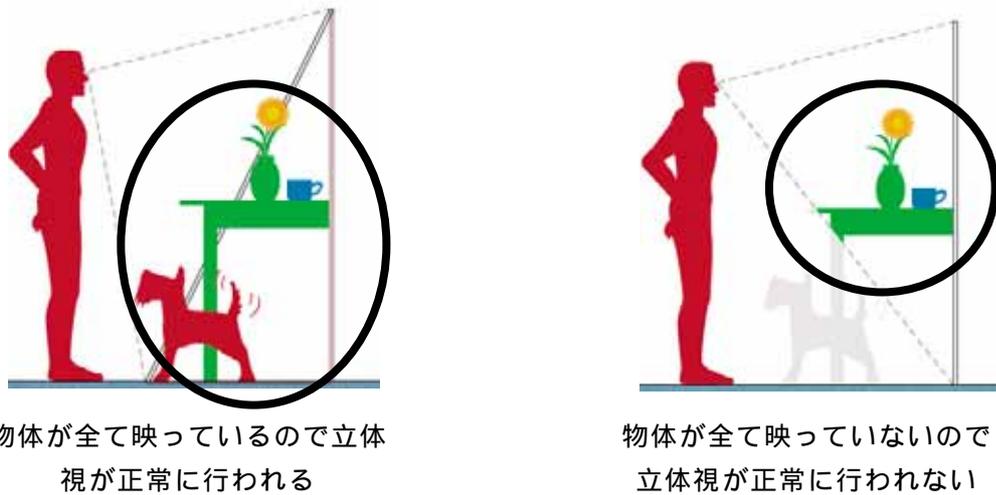


図 4-5-10 傾斜型スクリーンと垂直設置型スクリーンでの立体視の違い

映像の奥行き感の回答結果を見ると、被験者は垂直設置型スクリーンで奥行き感をより感じているが、傾斜型スクリーンの長所の回答結果と垂直設置型スクリーンの長所の回答結果を比較すると、傾斜型スクリーンの長所として4名が奥行き感を感じると回答しているのに対し、垂直設置型スクリーンでは3名である。このことから、奥行き感に関しては傾斜型スクリーンと垂直設置型スクリーンで大きな差は無いと考えられる。

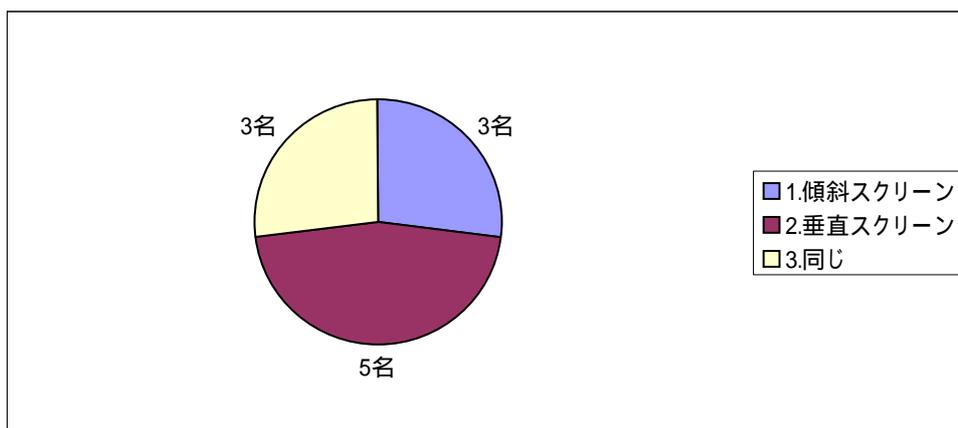


図 4-5-11 映像の奥行き感の回答結果

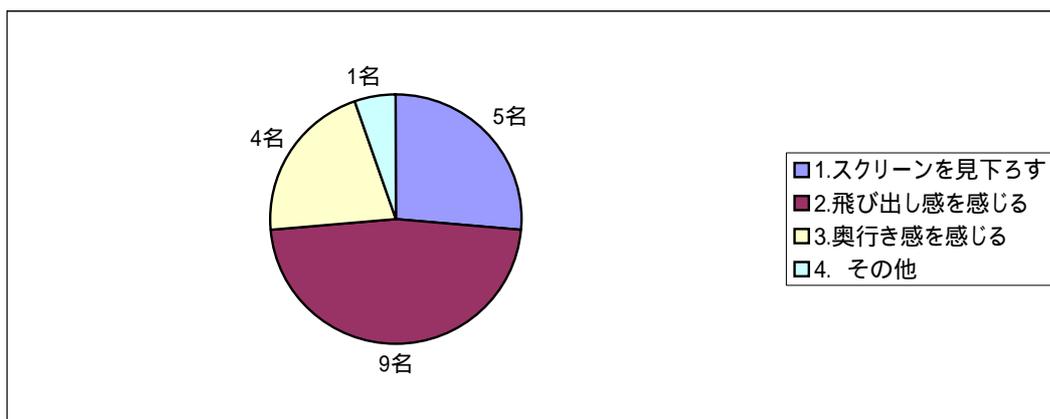


図 4-5-12 傾斜型スクリーンの長所の回答結果

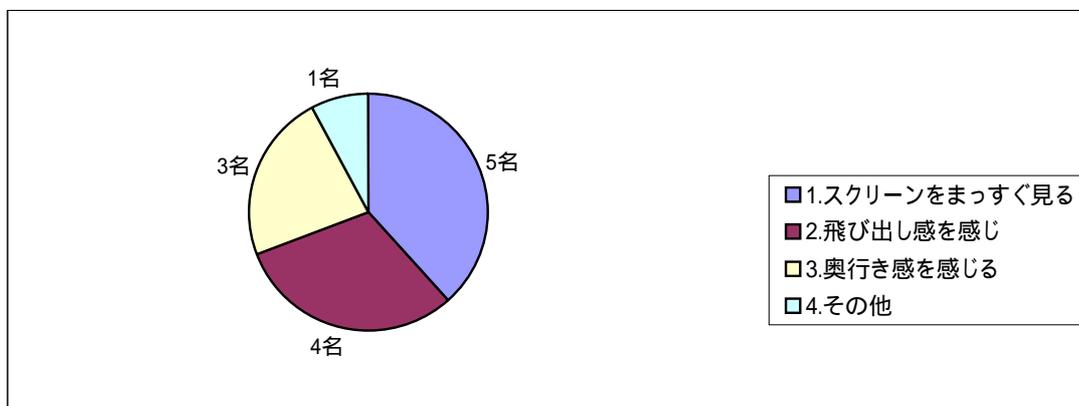


図 4-5-13 垂直設置型スクリーンの長所の回答結果

以上の結果より、3次元バーチャルリアリティ映像を投影するスクリーンとして傾斜型スクリーンがより効果的であると考えられる。

また、スクリーンの好みの回答結果を見ると、傾斜型スクリーンが好きと回答した回答者は11名中7名であり、学習者の興味を喚起するという点でも、傾斜型スクリーンがより有効であると考えられる。

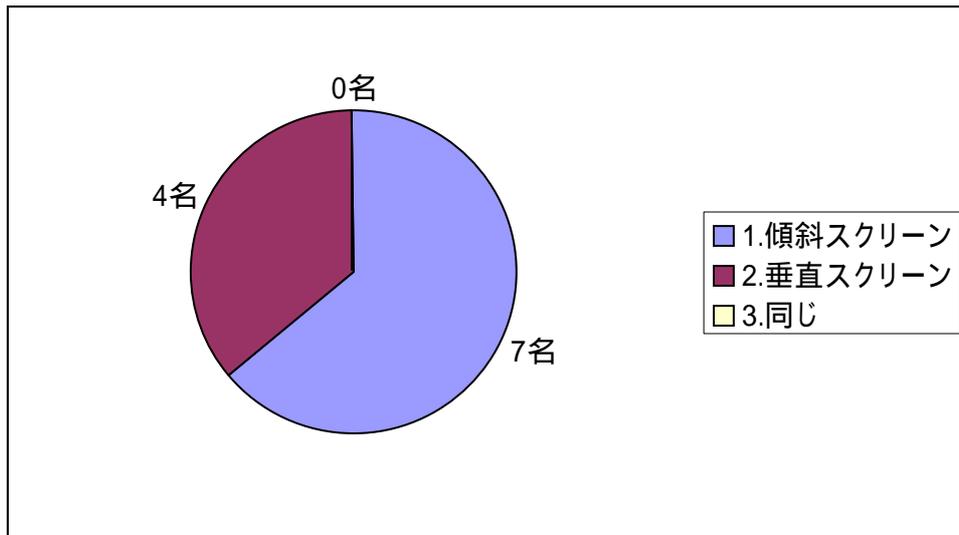


図 4-5-14 スクリーンの好みの回答結果

6 3D指示装置の有効性

6.1 実験要求事項

複数の被験者に、あるコンテンツを通常のマウスと、3D指示装置（3D操作デバイス）の両方で操作を行い、物体の移動や選択などの操作性について定量的な実験を行うことで評価を行う。また、使用感に関するアンケートの集計及び分析により、定性的な評価も加える。



写真 4-6-1 3D操作デバイス

6.2 実験仕様、手順

図 4-6-1 に 3D 指示装置実証実験の概略機器構成図を示す。

【実験仕様概要】

大垣北小学校に設定した傾斜型スクリーンにおいて、3次元バーチャルリアリティ映像内の物体の選択、移動の操作を3D操作デバイスとマウスそれぞれで行い、操作に掛かる時間を計測する。

また、被験者に操作感に関するアンケートを行い、結果を集計し評価する。

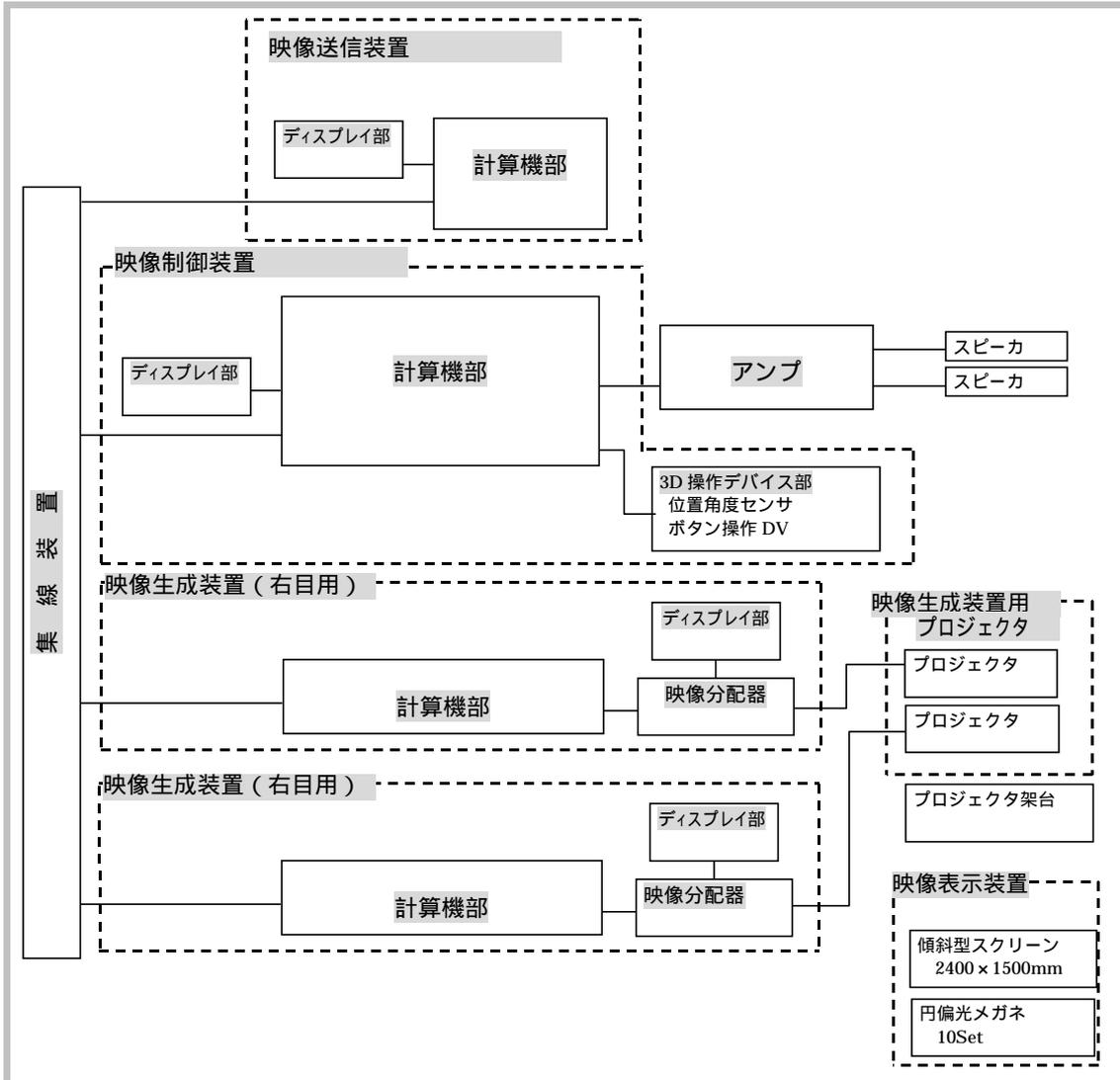


図 4-6-1 3D 指示装置実証実験概略機器構成図

【実験手順】

- ア. 被験者に円偏光メガネを掛け、傾斜型スクリーンの前で準備してもらう。
- イ. 国際宇宙ステーションの3次元バーチャルリアリティ映像コンテンツを起動し、3D操作デバイスを用い空間に浮かんでいる3台のスペースシャ

トル(ホープ)を国際宇宙ステーションにドッキングしているスペースシャトル(ホープ)の位置まで移動してもらい掛かった時間を測定する。

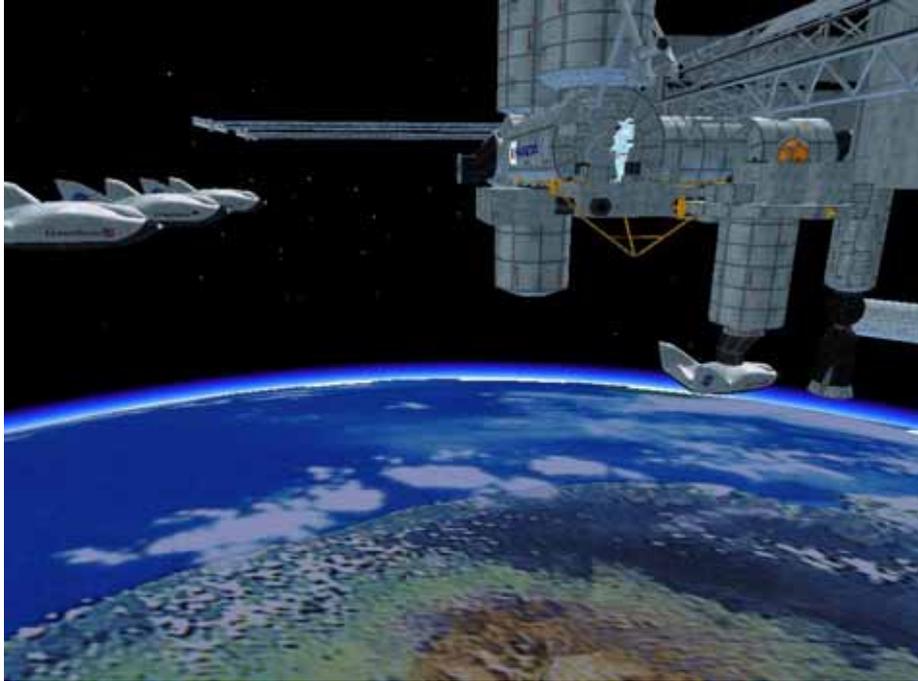


図 4-6-2 スペースシャトル(ホープ)の移動

- ウ. 国際宇宙ステーションの3次元バーチャルリアリティ映像コンテンツを初期状態に戻し、机を設置しマウスでの操作に変更する。
- エ. 国際宇宙ステーションの3次元バーチャルリアリティ映像コンテンツを開始し、マウスを用い3台のスペースシャトル(ホープ)を所定の位置まで移動してもらい掛かった時間を測定する。
- オ. 実験終了後、以下のアンケートを実施。

3 D指示装置実証実験のアンケート項目

- (A) 3 D操作デバイスとマウスどちらの操作が良いですか？
1. 3 D操作デバイス 2. マウス 3. 同じ)
その理由は？ ()
- (B) マウスの良いところ/悪いところをお教えてください。
良いところ ()
悪いところ ()
- (C) 3 D操作デバイスの良いところ/悪いところをお教えてください。
良いところ ()
悪いところ ()
- (D) マウスで簡単な操作は何ですか？
1. 右回転 2. 左回転 3. 前進 4. 後退 5. その他 ()
- (E) マウスで難しい操作は何ですか？
1. 右回転 2. 左回転 3. 前進 4. 後退 5. その他 ()
- (F) 3 D操作デバイスで簡単な操作は何ですか？
1. 右回転 2. 左回転 3. 前進 4. 後退 5. その他 ()
- (G) 3 D操作デバイスで難しい操作は何ですか？
1. 右回転 2. 左回転 3. 前進 4. 後退 5. その他 ()

6.3 実験実施環境

- (1) 実験実施場所：岐阜県大垣市立北小学校 コンピュータールーム
- (2) 実験実施環境配置図

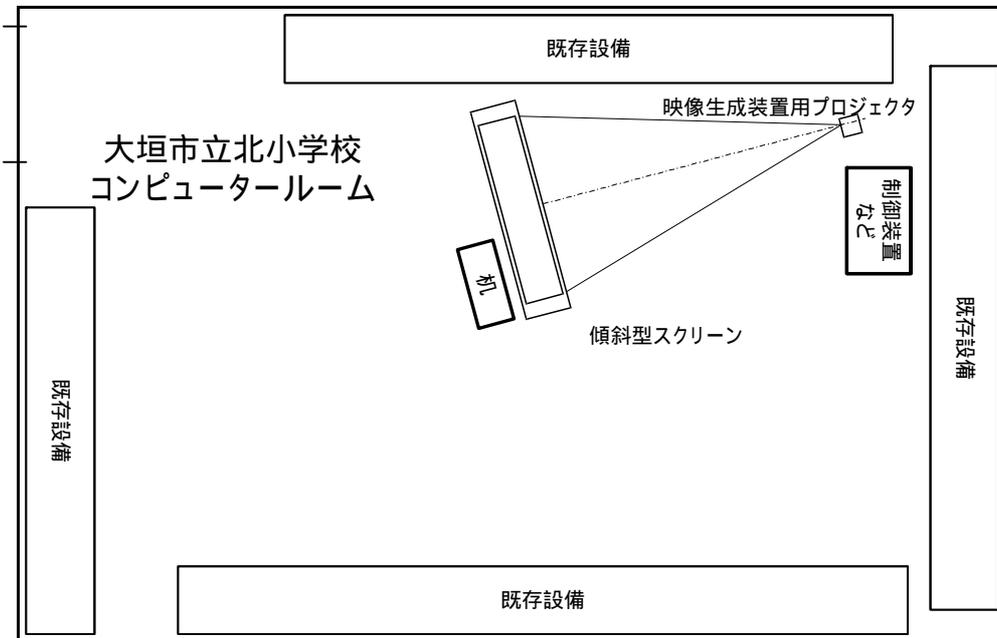


図 4-6-3 傾斜型スクリーンの有効性実証実験機器配置図

- (3) 被験者の人数
3人

6.4 実験実施結果

6.2 項イ.およびI.での操作時間の測定結果を以下に記す。

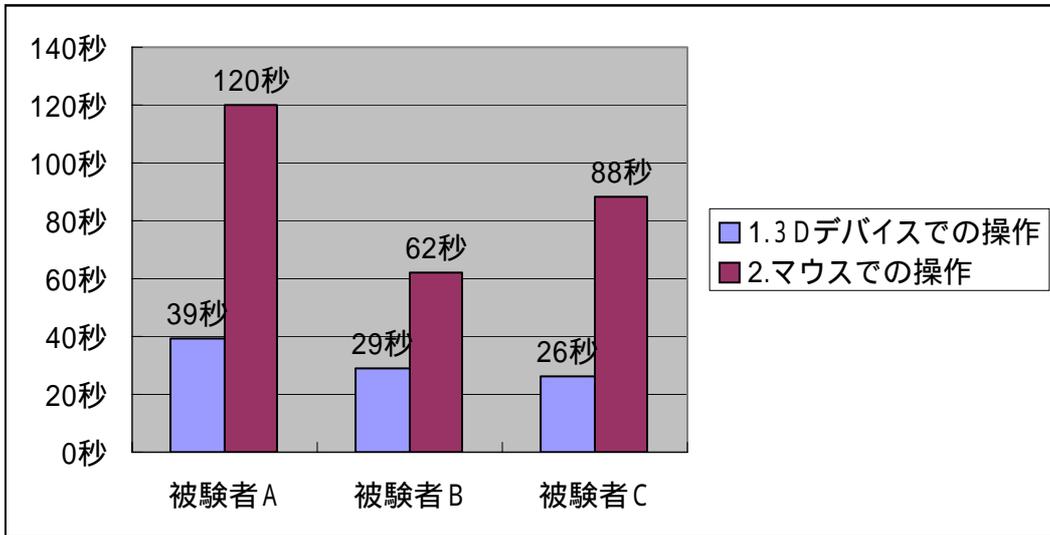


図 4-6-4 操作時間の測定結果

6.2 項オ.で行ったアンケートの結果を以下に記す。

(A) 操作感の比較の設問

【回答結果】

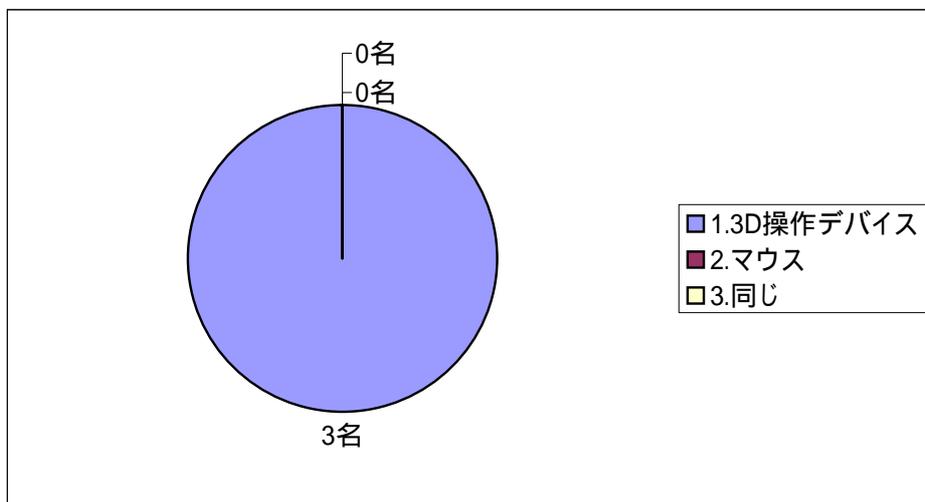


図 4-6-5 操作感の比較の回答結果

理由の具体的記述として以下の回答があった。

- ・ 操作デバイスのトラックボールが立体映像の移動感となじんでいる。
- ・ 奥行き操作ができる。空間を自由に動かすことができる。
- ・ 位置と角度を一度に操作できるから。

(B)マウスの長所と短所の設問

【回答結果】

長所の具体的記述による回答結果

- ・ 反応が正確である。
- ・ 向きを変化させにくいので、一方向に動かすのは動かしやすい。
- ・ 机の上で操作するので手を安定して動かせる。

短所の具体的記述による回答結果

具体的記述

- ・ やりにくい回転操作をしないと立体的な移動ができない。
- ・ 奥行きに移動させるのに右クリックの操作が必要になる。
- ・ 3次元空間での操作がやりにくい。

(C)3D操作デバイスの長所と短所の設問

【回答結果】

長所の具体的による回答結果

- ・ 大画面の前で操作できる。立体映像と連動している。
- ・ 上下・左右・前後に自由に動かすことができるし、微調整しやすい。
- ・ 手の動きと3次元空間の動きが対応している。

短所の具体的記述による回答結果

- ・ 精度があまりよくない。
- ・ すべて動いてしまうので、今回の場合シャトルの方向まで上下に動いてしまう点は最終の細かい所まで考えると動かしにくい。
- ・ 空中で腕を動かすので疲れる

(D)マウスで簡単な操作の設問

【回答結果】

複数回答あり 総回答数 4

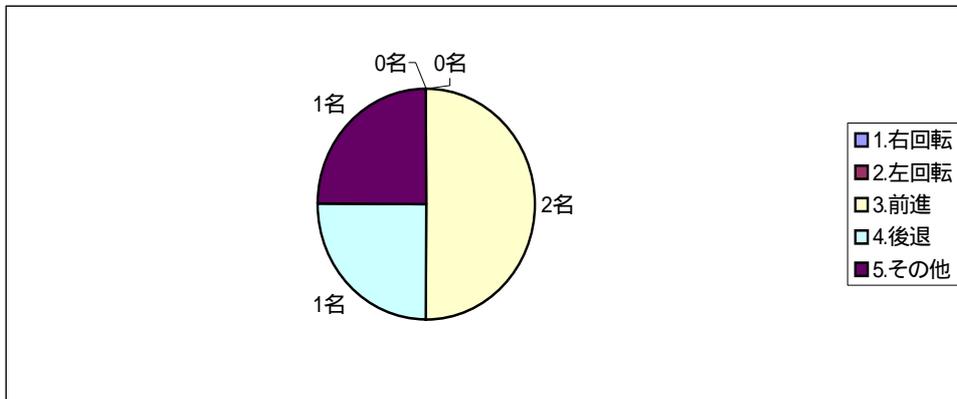


図 4-6-6 マウスで簡単な操作の回答結果

その他の具体的記述として以下の回答があった。

- ・ 上下左右の動き

(E)マウスで難しい操作の設問

【回答結果】

複数回答あり 総回答数 4

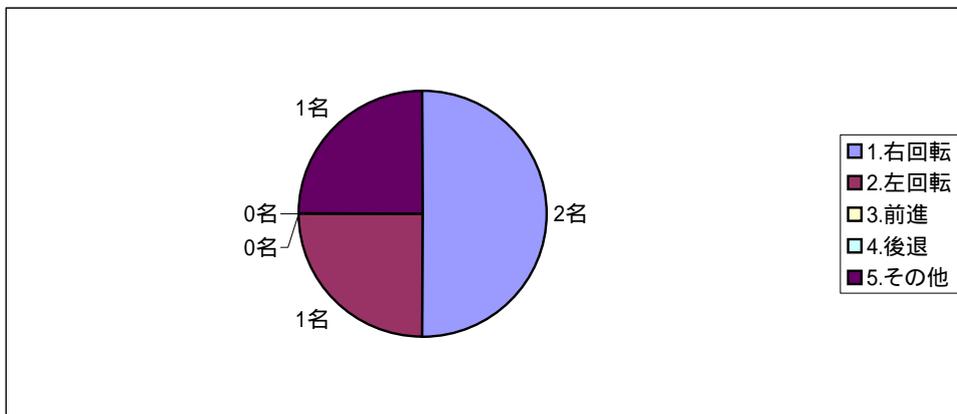


図 4-6-7 マウスで難しい操作の回答結果

その他の具体的記述として以下の回答があった。

- ・ 移動と回転を組み合わせた動き

(F) 3D操作デバイスで簡単な操作の設問

【回答結果】

複数回答あり 総回答数 9

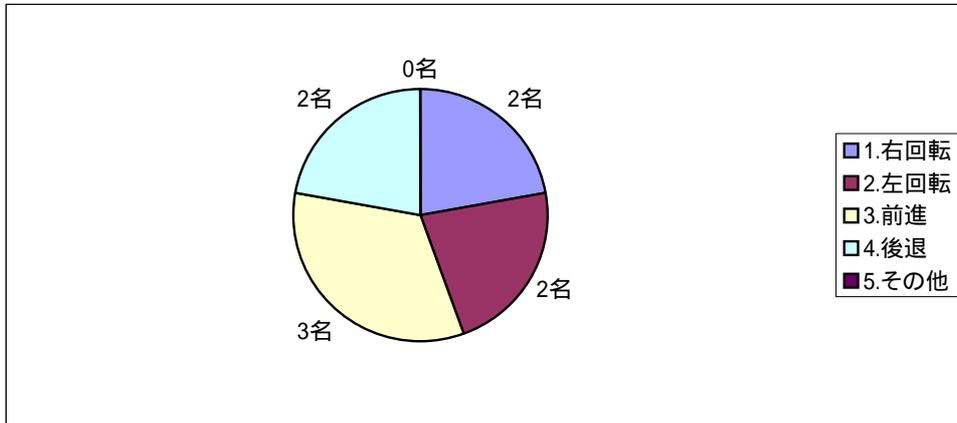


図 4-6-8 3D操作デバイスで簡単な操作の回答結果

(G) 3D操作デバイスで難しい操作の設問

【回答結果】

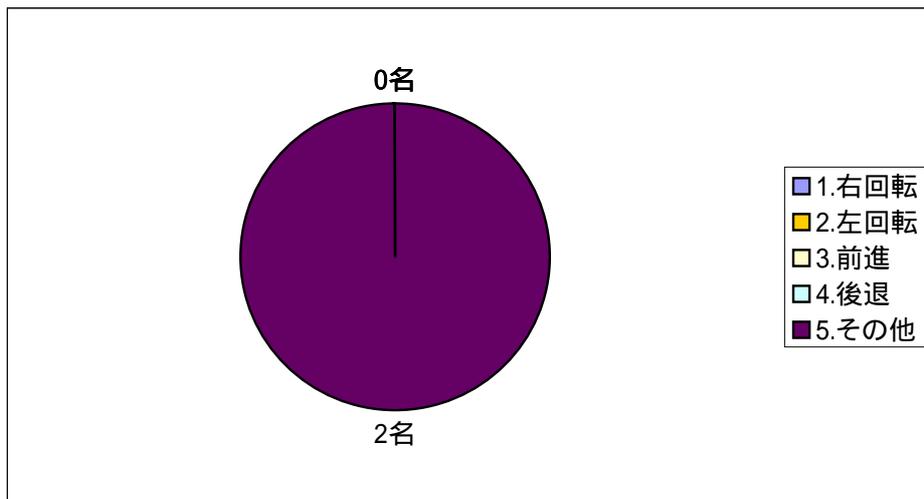


図 4-6-9 3D操作デバイスで難しい操作の結果

その他の具体的記述として以下の回答があった。

- ・細かい角度の回転
- ・1点に静止させること

4.5 結果と考察

4.4 項の操作時間の測定結果から、3次元空間内で物体を移動するような操作を行う場合、マウスでの操作に比べ3D操作デバイスでの操作では、約1/3から1/2まで時間を短縮できることが分かった。

また、操作感の比較の回答結果でも全ての被験者が3D操作デバイスでの操作が良いと回答している。理由の具体的記述からも、平面上での2自由度の操作しかできないマウスに比べ、6自由度の操作ができる3D操作デバイスがより3次元空間で操作に適していることがわかる。

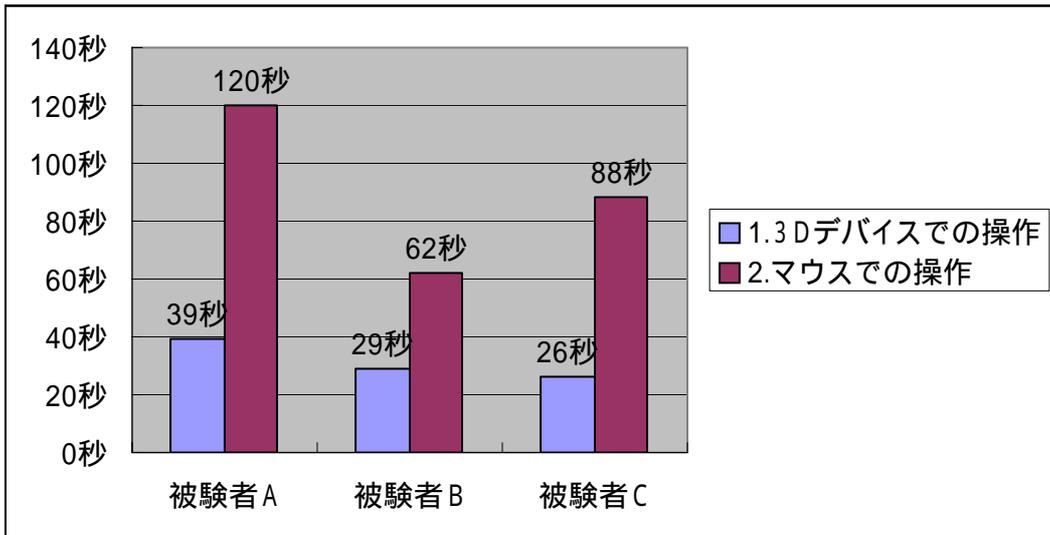


図 4-6-10 操作時間の測定結果

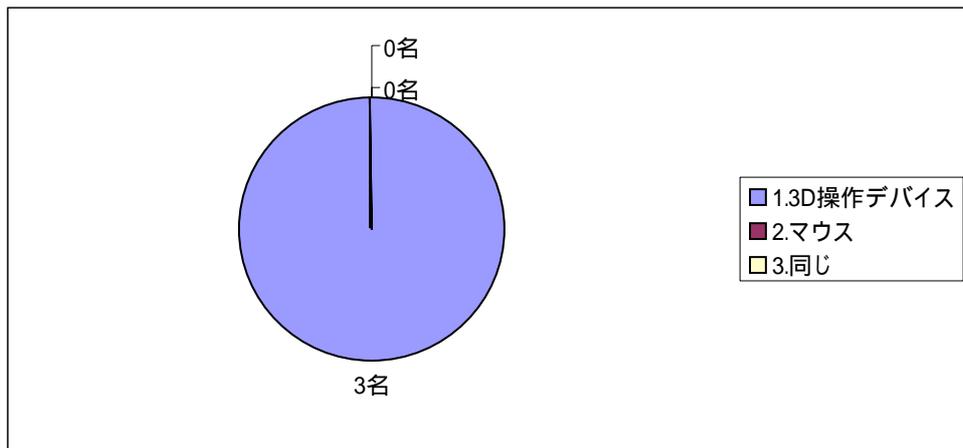


図 4-6-11 操作感の比較の回答結果

* 理由に関する具体的記述

- ・ 操作デバイスのトラックボールが立体映像の移動感となじんでいる。
- ・ 奥行き操作ができる。空間を自由に動かすことができる。
- ・ 位置と角度を一度に操作できるから。

マウスで簡単な操作の回答結果および、マウスで難しい操作の回答結果から、マウスは前後への平行移動には向いているが回転の動きには向いていない事がわかる。

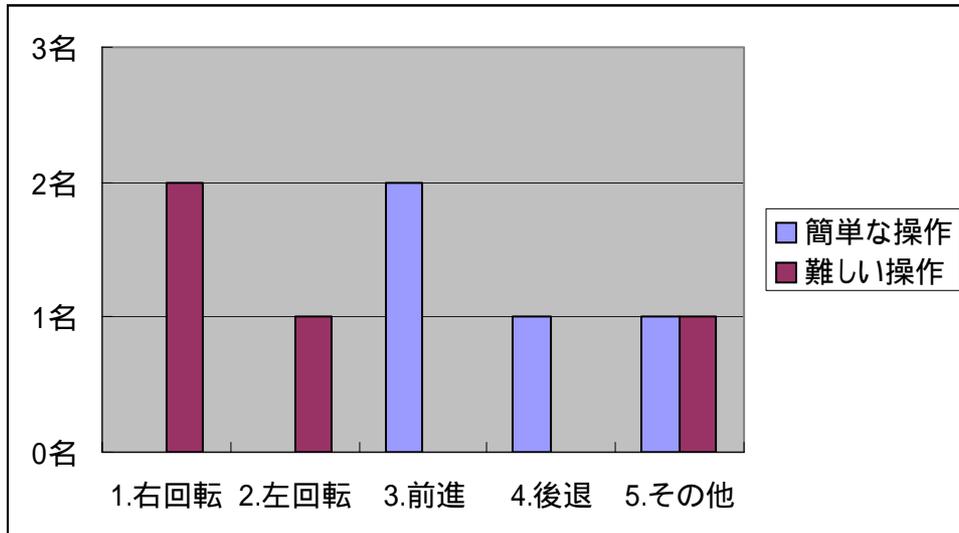


図 4-6-12 マウスで簡単な操作と難しい操作の回答結果

また、3D操作デバイスで簡単な操作の回答結果から、3D操作デバイスは前後の平行移動、回転のどちらも適しているが、操作の精度の点ではマウスの方が良いと考えられていることがわかる。マウスの長所と短所の回答結果と3D操作デバイスの長所と短所の回答結果からも同様のことが推測される。

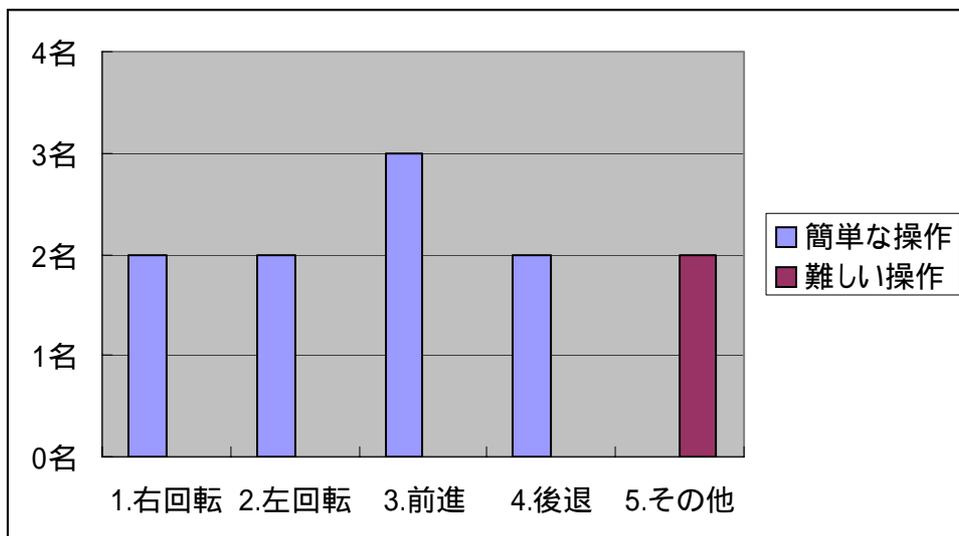


図 4-6-13 3D操作デバイスで簡単な操作と難しい操作の回答結果

* その他の具体的記述による回答

- ・細かい角度の回転
- ・1点に静止させること

(B) マウスの長所と短所の回答結果

長所の具体的記述による回答

- ・ 反応が正確である。
- ・ 向きを変化させにくいので、一方向に動かすのは動かしやすい。
- ・ 机の上で操作するので手を安定して動かせる。

短所の具体的記述による回答

- ・ やりにくい回転操作をしないと立体的な移動ができない。
- ・ 奥行きに移動させるのに右クリックの操作が必要になる。
- ・ 3次元空間での操作がやりにくい。

(C) 3D操作デバイスの長所と短所の回答結果

長所の具体的記述による回答

- ・ 大画面の前で操作できる。立体映像と連動している。
- ・ 上下・左右・前後に自由に動かすことができるし、微調整しやすい。
- ・ 手の動きと3次元空間の動きが対応している。

短所の具体的記述による回答

- ・ 精度があまりよくない。
- ・ すべて動いてしまうので、今回の場合シャトルの方向まで上下に動いてしまう点は最終の細かい所まで考えると動かしにくい。
- ・ 空中で腕を動かすので疲れる

7 双方向通信の有効性

7.1 実験要求事項

以下の3つの遠隔指導モデル(双方向/一方向)の場合ごとに、指導者及び学習者に対するアンケートを行い、結果を比較分析する。

- (A)コンテンツを配信するとともにリアルタイムで指導者、学習者の映像、音声を送り、双方向指導を行う。(映像/音声双方向)
- (B)指導者、学習者の映像は送らずに、コンテンツのみを配信し、音声通信による会話で補助した指導を行う。
- (C)コンテンツを配信するのみ。学習者は受身の指導を受ける(一方向)

7.2 実験仕様、手順

図 4-7-1 に双方向通信実証実験の実験構成図を、図 4-7-2 に各実験拠点での機器構成図を示す。

【実験仕様概要】

山梨県の山梨大学付属小学校、白根巨摩中学校と岐阜県大垣市の市立北小学校、市立北中学校の3次元VRシステムを動作させ、ネットワークを介して白根巨摩中学校に招待した専門家(以下指導者)に国際宇宙ステーションについての授業を行ってもらう。その際、映像、音声ともに双方向通信する時間、音声のみ双方向通信する時間、コンテンツを配信するのみで双方向通信を行わない時間の各パートに区切り、各時間の終了後にヒアリングを行う。

また授業終了後、指導者にアンケートを行う。

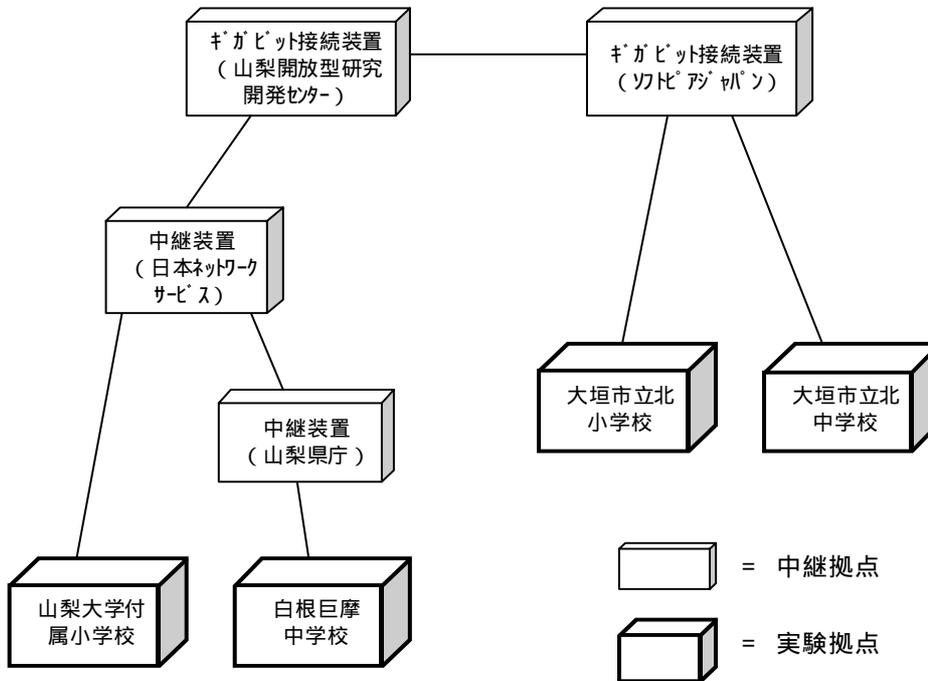


図 4-7-1 双方向通信実証実験構成図

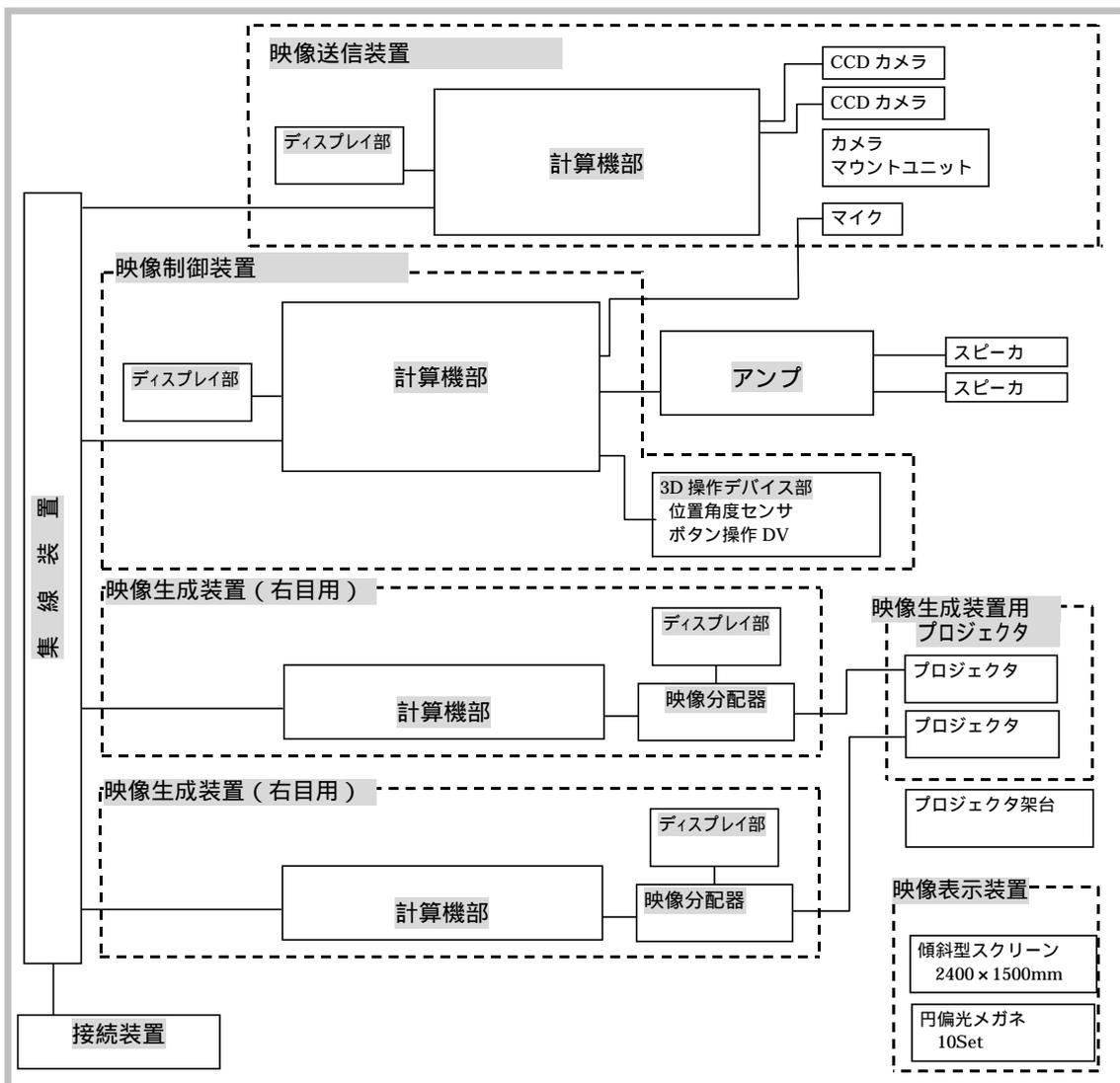


図 4-7-2 各実験拠点機器構成図

【実験手順】

- ア. 各校の3次元VRシステムを起動し、双方向通信が可能な状態にする。
- イ. 被験者(指導者、各校の児童、生徒)に円偏光メガネを掛けて、傾斜スクリーンの前で準備をしてもらう。
- ウ. 国際宇宙ステーションの3次元バーチャルリアリティ映像コンテンツを起動し、3次元バーチャルリアリティ映像を閲覧してもらう。
- エ. まず、カメラ映像を表示せず、コンテンツの配信のみを行い、終了後ヒアリングを行う。遠隔指導モデル(C)に該当。

【ヒアリング内容】

国際宇宙ステーションの大きさはどのくらいか。

《プール、サッカーグラウンド、ディズニーランドの中から選択》

オ. 次にカメラ映像を表示し、映像、音声共に双方向通信を行い指導者に説明を行ってもらおう。終了後、ヒアリングを行う遠隔指導モデル(A)に該当。

【ヒアリング内容】

日本の実験施設の名前は何か。

《きぼう、C3PO、まんてんの中から選択》

カ. 最後にカメラ映像を表示せず、音声のみ双方向通信を行い、指導者に説明を行ってもらおう。終了後、ヒアリングを行う。遠隔指導モデル(B)に該当。

【ヒアリング内容】

シャトルが近づくにはどうすれば良いか。

《加速噴射、減速噴射、そのままの中から選択》

キ. 実証実験終了後、以下の内容のアンケートを指導者に記入してもらおう。

双方向通信実証実験用アンケート項目

(A)どのパートが生徒に興味を持たれたと思いますか

- ・ ISS 外観立体視
- ・ ISS 説明
- ・ 周回軌道
- ・ 質疑応答

その理由は、()

(B)どのパートが生徒によく理解してもらえたと思いますか

- | | |
|-------------|------------------|
| ・ ISS 外観立体視 | コンテンツのみの上映 |
| ・ ISS 説明 | 双方のカメラ映像、双方の音声あり |
| ・ 周回軌道 | 双方の音声あり |

その理由は、()

(C)それぞれの手法の良い点、悪い点をお教えてください。

- | | |
|-------------|------------------|
| ・ ISS 外観立体視 | コンテンツのみの上映 |
| ・ ISS 説明 | 双方のカメラ映像、双方の音声あり |
| ・ 周回軌道 | 双方の音声あり |

7.3 実験実施環境

(1) 実験実施場所

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

(2) 実験実施環境構成図

7.2 項の実験を実施した実験環境の構成図を図 4-7-3 に示す。

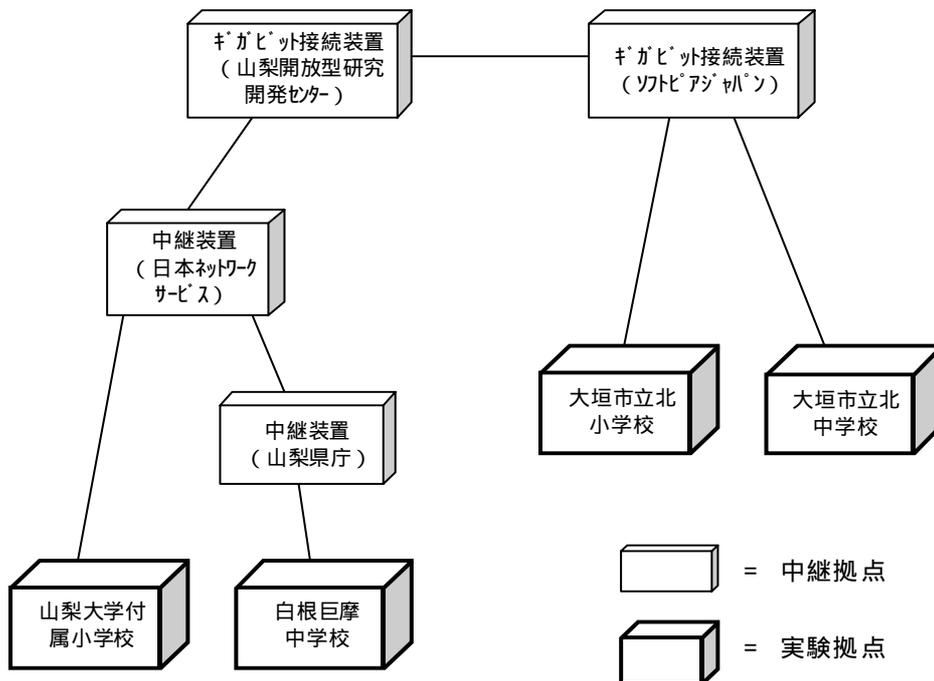


図 4-7-3 双方向通信実証実験実施環境構成図

(3) 被験者および人数

指導者

宇宙開発事業団 渡辺勝巳様

学習者

- ・ 山梨大学附属小学校 児童 6人
- ・ 山梨県白根巨摩中学校 生徒 7人
- ・ 岐阜県大垣市立北小学校 児童 10人
- ・ 岐阜県大垣市立北中学校 生徒 6人

(4) 実施風景



写真 4-7-1 双方向通信の実証実験(大垣市立北小学校)



図 4-7-4 双方向通信時の表示画像(左目用)

7.4 実験実施結果

7.2 項I.、オ.およびカ.で行ったヒアリングの結果を記す。

I. 遠隔指導モデル(C)

国際宇宙ステーションの大きさのヒアリング。

(正解はサッカーグラウンド)

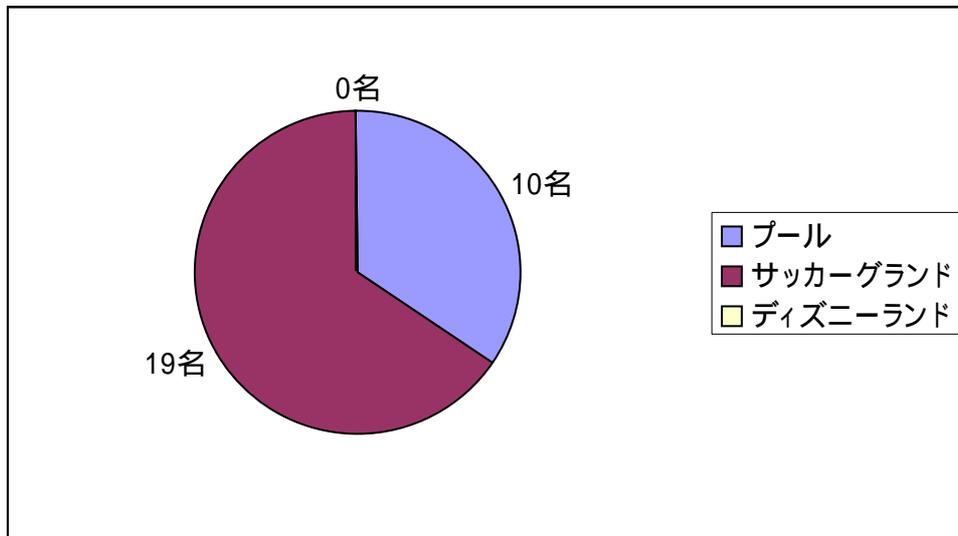


図 4-7-5 国際宇宙ステーションの大きさのヒアリング結果

オ. 遠隔指導モデル(A)

日本の実験施設名のヒアリング。

(正解はきぼう)

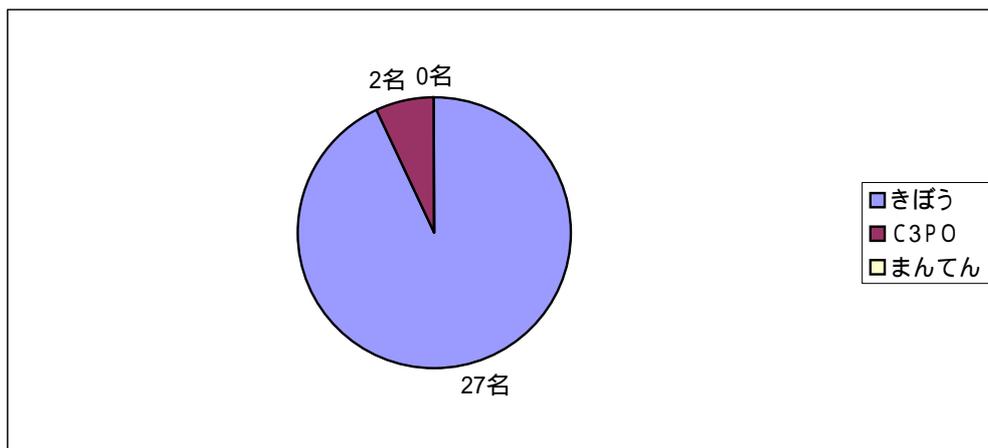


図 4-7-6 遠隔指導モデル(A).のヒアリング結果

カ.遠隔指導モデル(B)

シャトルの接近についてのヒアリング。

(正解は減速噴射)

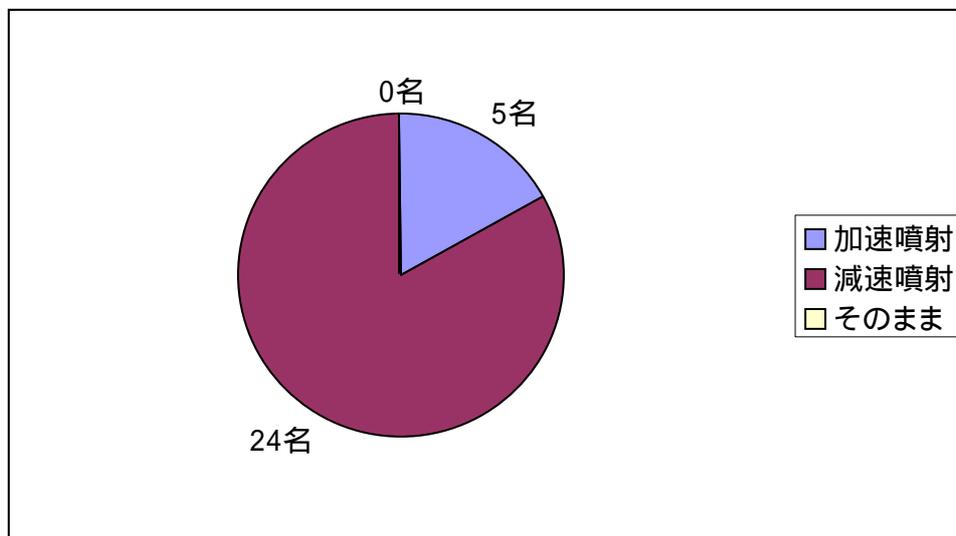


図 4-7-7 シャトルの接近方法のヒアリング結果

7.2 項#.で行った指導者への双方向通信実証実験用アンケートの結果を記す。

(○印はアンケートの記入結果を示す。)

(A)学習者の興味の設定

【回答結果】

- | | |
|--|--------------|
| <input checked="" type="radio"/> ISS 外観立体視 | * 遠隔指導モデル(C) |
| ・ ISS 説明 | * 遠隔指導モデル(A) |
| ・ 周回軌道 | * 遠隔指導モデル(B) |
| <input checked="" type="radio"/> 質疑応答 | * 遠隔指導モデル(A) |

理由の具体的記述による回答結果

3D映像の迫力は、生徒にとって新鮮であったと思う。また、それに対してポインターも立体的に投影されるのも、驚きがあったように思う。講師のポインターを使用する技術・演出も大切だと思う。

質疑応答は、同時双方向性の利点を生かせるため、生徒も興味をもったと思われる。

(B)学習者の理解度の設定

【回答結果】

- | | |
|--|------------------|
| <input checked="" type="radio"/> ISS 外観立体視 | コンテンツのみの上映 |
| ・ ISS 説明 | 双方のカメラ映像、双方の音声あり |
| ・ 周回軌道 | 双方の音声あり |

理由の具体的記述による回答結果

完パケ映像コンテンツであり、それなりの演出が行われている。

(C)各遠隔指導モデルの長所と短所の設問

【回答結果】

遠隔指導モデル(A)の長所と短所の回答結果を具体的記述のまま記す。

説明対象物の、詳細な説明のためのコンテンツとしてみれば、良いと思われる。可能であれば、より詳細な制作(例えば接近、内部の映像等)が説明として準備されると良いと思う。

ただ、説明者の操作が難しい面があり、操作性の向上が望まれる。

遠隔指導モデル(B)の長所と短所の回答結果を具体的記述のまま記す。

遠隔指導モデル(A)と同じ意見。

遠隔指導モデル(C)の長所と短所の結果を具体的記述のまま記す。

生徒には一番迫力があり興味をひいたと思われるが、授業の取っ掛かりとして使用するには良いと思われるが、学校教材そのものとして使用するには、教える側の自由度が無いため、なかなか難しい。

7.5 結果と考察

7.4 項のヒアリング結果を見ると、遠隔指導モデル(A)の正解数 27 名、遠隔指導モデル(B)の正解数 24 名、遠隔指導モデル(C)の正解数が 19 名である。このことから、双方向通信によって伝達される情報が多いほど、学習者の興味を喚起し、内容の理解を助けていると考えられる。

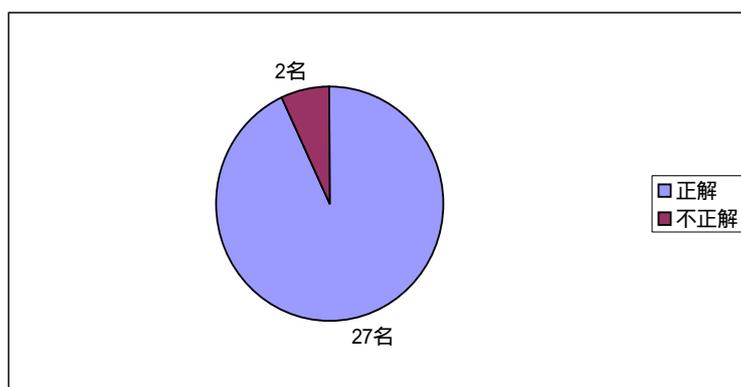


図 4-7-8 遠隔指導モデル(A)の正解数

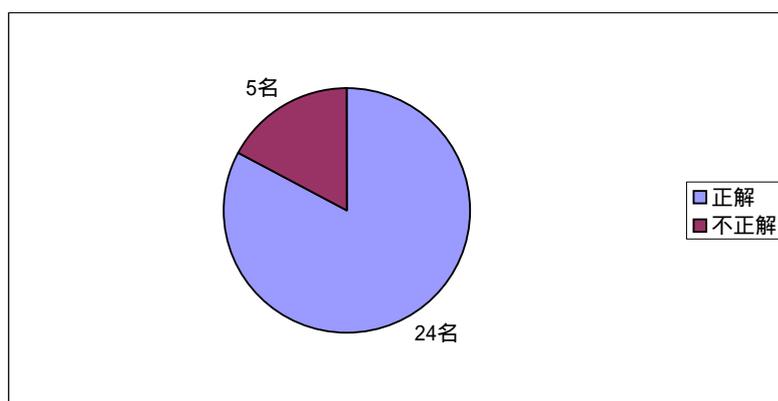


図 4-7-9 遠隔指導モデル(B)の正解数

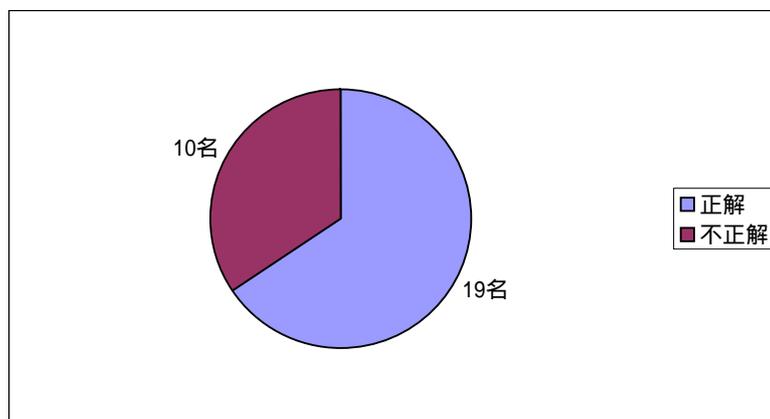


図 4-7-10 遠隔指導モデル(C)の正解数

指導者への学習者の興味の回答結果および学習者の理解度の回答結果から、指導者は映像、音声の双方向通信による指導(遠隔指導モデル(A))により学習者の興味を引くことが可能であるが、ある意図をもって演出された3D映像コンテンツによる指導(遠隔指導モデル(C))の方が、興味を引くだけでなく、内容の理解を助けることができると考えていることがわかる。

(○印はアンケートの記入結果を示す。)

(A) 学習者の興味の設問

【回答結果】

- ISS 外観立体視^{*1} * 遠隔指導モデル(C)
- ISS 説明 * 遠隔指導モデル(A)
- 周回軌道 * 遠隔指導モデル(B)
- 質疑応答 * 遠隔指導モデル(A)

理由の具体的記述による回答結果

3D映像の迫力は、生徒にとって新鮮であったと思う。また、それに対してポインターも立体的に投影されるのも、驚きがあったように思う。講師のポインターを使用する技術・演出も大切だと思う。

質疑応答は、同時双方向性の利点を生かせるため、生徒も興味をもったと思われる。

(B) 学習者の理解度の設問

【回答結果】

- ISS 外観立体視 コンテンツの上のみ上映
- ISS 説明 双方のカメラ映像、双方の音声あり
- 周回軌道 双方の音声あり

理由の具体的記述による回答結果

完パケ映像コンテンツであり、それなりの演出が行われている。

^{*1} ISS：国際宇宙ステーション

また、各遠隔指導モデルの長所と短所の回答結果から、遠隔指導モデル(C)：国際宇宙ステーション(ISS)の外観立体視により学習者の興味を引いた後、国際宇宙ステーション(ISS)の説明や質疑応答により詳細な説明を行う教育形態が有効であると考えていることがわかる。

(C)各遠隔指導モデルの長所と短所の設問

【回答結果】

遠隔指導モデル(A)の長所と短所の回答結果を具体的記述のまま記す。

説明対象物の、詳細な説明のためのコンテンツとしてみれば、良いと思われる。可能であれば、より詳細な制作(例えば接近、内部の映像等)が説明として準備されると良いと思う。

ただ、説明者の操作が難しい面があり、操作性の向上が望まれる。

遠隔指導モデル(B)の長所と短所の回答結果を具体的記述のまま記す。

遠隔指導モデル(A)と同じ意見。

遠隔指導モデル(C)の長所と短所の結果を具体的記述のまま記す。

生徒には一番迫力があり興味をひいたと思われるが、授業の取っ掛かりとして使用するには良いと思われるが、学校教材そのものとして使用するには、教える側の自由度が無いため、なかなか難しい。

8 教員の不可の軽減度性

8.1 実験要求事項

3次元バーチャルリアリティを使用した授業における教師の負担の軽重を従来の方法と比較し、検証・評価する。

8.2 実験仕様、手順

図 4-8-1 に教師の負担実証実験の実験構成図を、図 4-8-2 に各実験拠点での機器構成図を示す。

【実験仕様概要】

山梨県の山梨大学付属小学校、白根巨摩中学校と岐阜県大垣市の市立北小学校、市立北中学校の4校の3次元VRシステムを動作させ、ネットワークを介して白根巨摩中学校に招待した専門家(以下指導者)に各校の教諭の前で国際宇宙ステーションについての授業を行ってもらう。

また授業終了後、指導者および各校の教諭に対してアンケートを実施する。

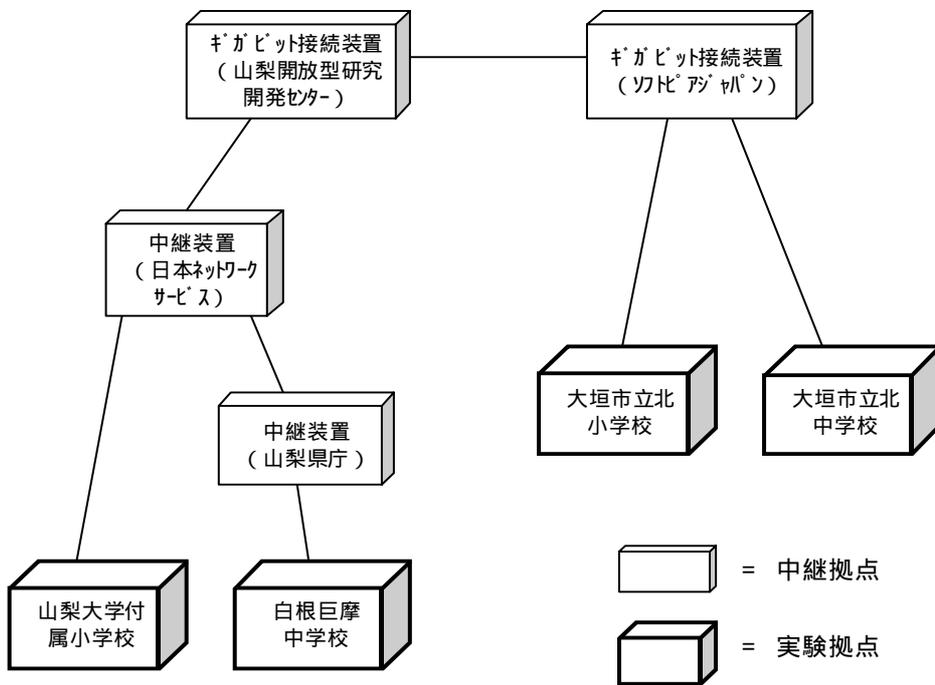


図 4-8-1 教師の負担実証実験構成図

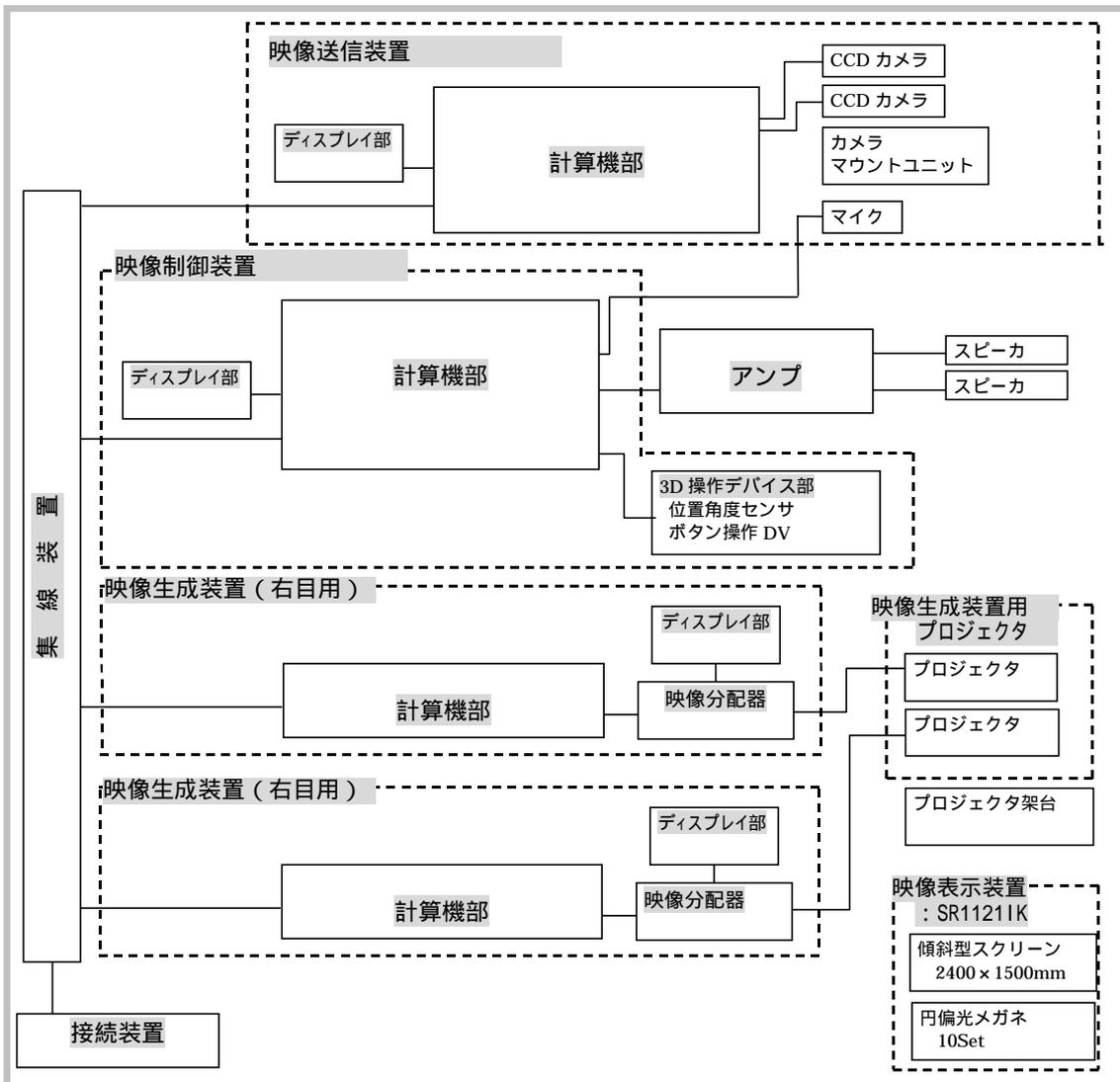


図 4-8-2 各実験拠点機器構成図

【実験手順】

- ア. 各校の3次元VRシステムを起動し、双方向通信が可能な状態にする。
- イ. 被験者(指導者、各校の児童、生徒)に円偏光メガネを掛けて、傾斜スクリーンの前で準備をしてもらう。
- ウ. 国際宇宙ステーションの3次元バーチャルリアリティ映像コンテンツを起動し、3次元バーチャルリアリティ映像を閲覧してもらう。
- エ. 閲覧終了後、以下の内容のアンケートを指導者に記入してもらう。

教師の負担実証実験用アンケート項目 1

通常の講演、指導などと比べてこのシステムで負担となる点/悪い点、楽になる点/良い点をお教えてください。

- ・ 負担となる点/悪い点

()

- ・ 楽になる点/良い点

()

どちらの講演、指導が楽ですか

1. 通常 2. 3D-VR 3. どちらも大変

その他、今日の実験についての感想や意見を聞かせてください。

オ. また、以下の内容のアンケートを各校の教諭に記入してもらおう。

教師の負担実証実験用アンケート項目 2

(A)自分でこのシステムを利用して授業をしてみたいと思いますか？

1. 他校と通信して利用したい。
2. スタンドアロンで、立体視と3次元操作デバイスを利用したい。
3. 利用したくない。

(B)このシステムで授業を行う際、負担になりそうだと思うことは？

1. システムの操作。
2. システムの管理(スクリーンの移動、メガネの管理など)
3. 資料などの作成。
4. 通信相手との日程、時間調整
5. 授業場所が限定されること。
6. その他 ()

(C)このシステムで授業を行うと楽になりそうだと思うことは？

1. 立体視で形状などを伝えやすい。
2. 生徒が授業により興味を持ってくれる。
3. 自分のあまりよく知らない分野でも、他校の詳しい先生に協力してもらえる。
4. その他 ()

(D)このシステムでの授業は、通常の授業と比較して

1. 負担が重い 2. 負担が軽い 3. 負担は同じ

8.3 実験実施環境

(1) 実験実施場所

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

(2) 実験実施環境構成図

8.2 項の実験を実施した実験環境の構成図を図 4-8-3 に示す。

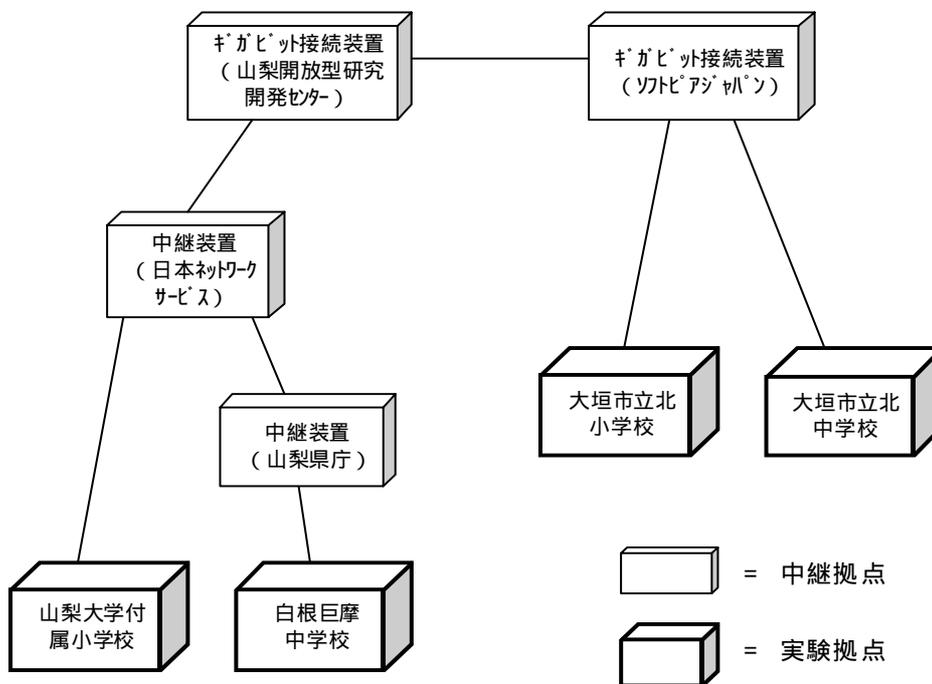


図 4-8-3 教師の負担実証実験実施環境構成図

(3) 被験者および人数

指導者

宇宙開発事業団 渡辺勝巳様

各校教諭

- ・ 山梨大学附属小学校 教諭 2人
- ・ 山梨県白根巨摩中学校 教諭 2人
- ・ 岐阜県大垣市立北小学校 教諭 1人
- ・ 岐阜県大垣市立北中学校 教諭 1人

(4) 実施風景



写真 4-8-1 教師の負担実証実験

8.4 実験実施結果

(1) 指導者へのアンケート

8.2 項のI.で行った教師の負担実証実験用アンケート項目 1 の結果を記す。

3次元VRシステムでの講演、指導の長所と短所の設問

【回答結果】

短所についての具体的記述による回答

(説明者の操作性の向上。)

・ 長所に関する具体的な記述による回答

(教育には演出は必要ないのかもしれないが、感動を呼び起こすため、言葉だけでは表現できない内容等の説明にはよいシステムであると思われる。)

負担の軽重の設問 (印はアンケートの記入結果を示す。)

1. 通常 2. 3D-VR 3. どちらも大変

教師の負担実証実験についての設問

以下に回答結果を具体的記述のまま記す。

- ・ 通常の講演になれているため、操作や目線の訓練が必要であると感じた。
- ・ もっとも望みたいのは、既に制作され、あてがわれた教材での授業ではなく、授業者独自の即興の資料が、同様の手段で投影・送信できることが望ましい。
- ・ 離れた所で、同時に展開するこのシステムの利点は、リアル感があると思われる。例えば、講演者の等身大の姿を全ての会場に立体投影させる等の演出は必要と思われる。
- ・ 講演者から各会場の生徒の表情がもう少し鮮明であると、話しやすいと思われる。
- ・ いずれにしても、本システムは教育システムとして、将来有望であると考えられる。

(2)各校の教諭へのアンケート

8.2 項のオ.で行ったアンケート項目 2 の結果を記す。

3次元VRシステムの利用の設問

【回答結果】

複数回答あり、総回答数 10

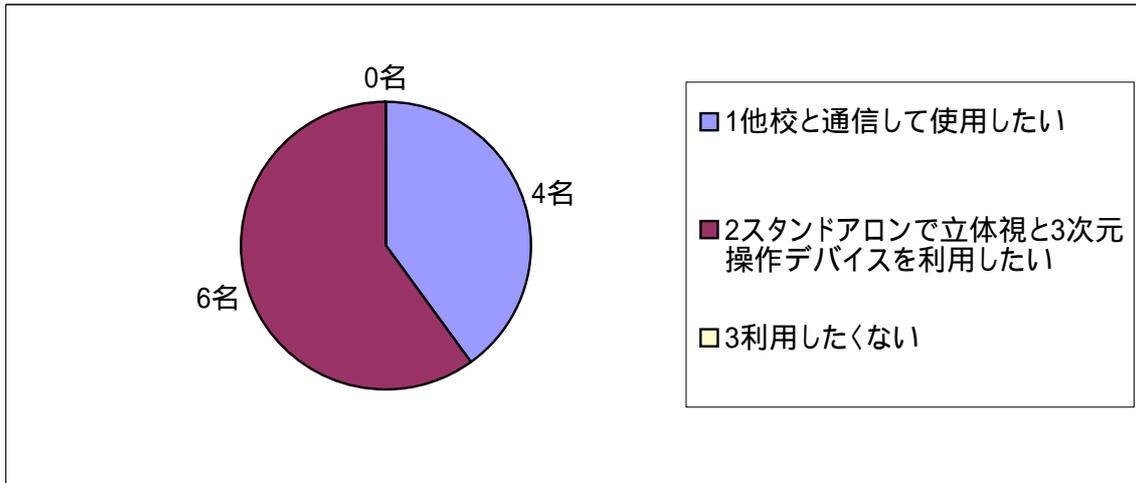


図 4-8-4 3次元VRシステムの利用の回答結果
具体的地域名としては、以下の回答があった。

- ・ 専門家による教育形態
- ・ 外国の方と、風景や史跡等を映しながらの教育形態

3次元VRシステムの負担点の設問

【回答結果】

複数回答あり 総回答数 16

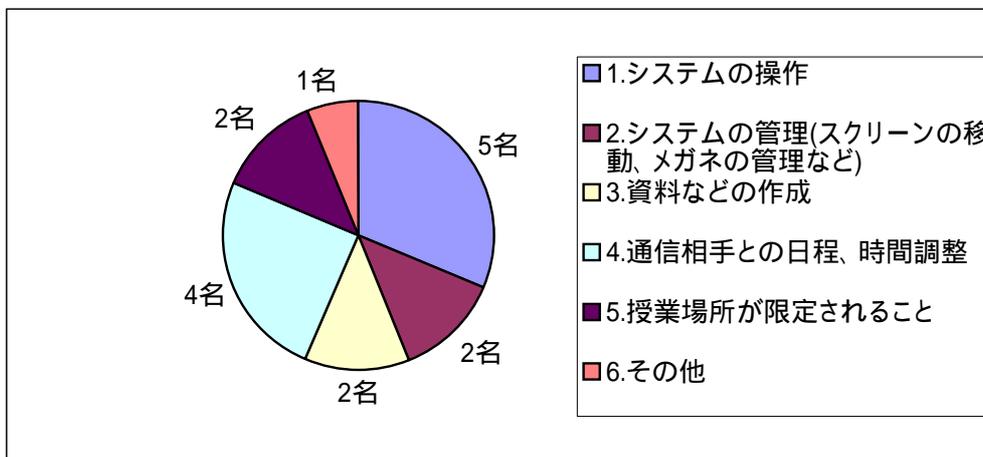


図 4-8-5 3次元VRシステムの負担点の回答結果

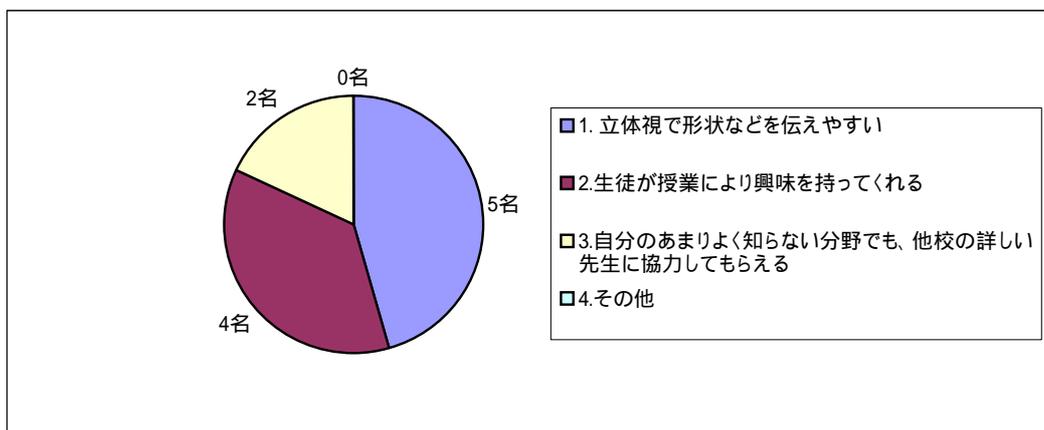
その他の具体的記述として以下の回答があった。

- ・機械に不具合や故障が出た時の技術的対応

3次元VRシステムによる負担の軽減点の設問

【回答結果】

複数回答あり 総回答数 11



図

4-8-6 3次元VRシステムによる負担の軽減点の回答結果

通常の授業との比較の設問

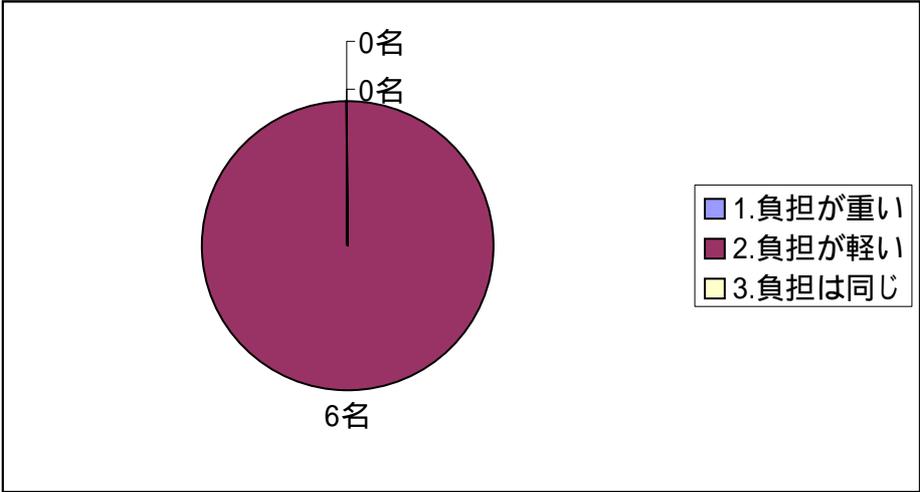


図 4-8-7 通常の授業との比較の回答結果

8.5 結果と考察

8.4 項(1)の教師の負担実証実験用アンケート項目1の結果から、指導者は通常の講演指導に比べ3次元VRシステムは操作等に訓練が必要であり負担は重い
が、言葉だけで表現できない内容の説明には有効であると考えていることがわか
る。

* 教師の負担実証実験用アンケート項目1の結果

3次元VRシステムでの講演、指導の長所と短所の設問

【回答結果】

短所についての具体的記述による回答

(説明者の操作性の向上。)

長所に関しての具体的記述による回答

(教育には演出は必要ないのかもしれないが、感動を呼び起こすため、言葉だけでは表現できない内容等の説明にはよいシステムであると思われる。)

負担の軽重の設問

- ① 通常 2. 3D-VR 3. どちらも大変

教師の負担実証実験についての設問

回答結果を具体的記述のまま、以下に記す。

- ・ 通常の講演になれているため、操作や目線の訓練が必要であると感じた。
- ・ もっとも望みたいのは、既に制作され、あてがわれた教材での授業ではなく、授業者独自の即興の資料が、同様の手段で投影・送信できることが望ましい。
- ・ 離れたところで、同時に展開するこのシステムの利点は、リアル感であると思われる。例えば、講演者の等身大の姿を全ての会場に立体投影させる等の演出は必要と思われる。
- ・ 講演者から各会場の生徒の表情がもう少し鮮明であると、話しやすいと思われる。
- ・ いずれにしても、本システムは教育システムとして、将来有望であると考えられる。

通常の授業との比較の回答結果から、全ての教諭が 3 次元 V R システムを使用
 しての授業は負担が重いと考えていることがわかる。

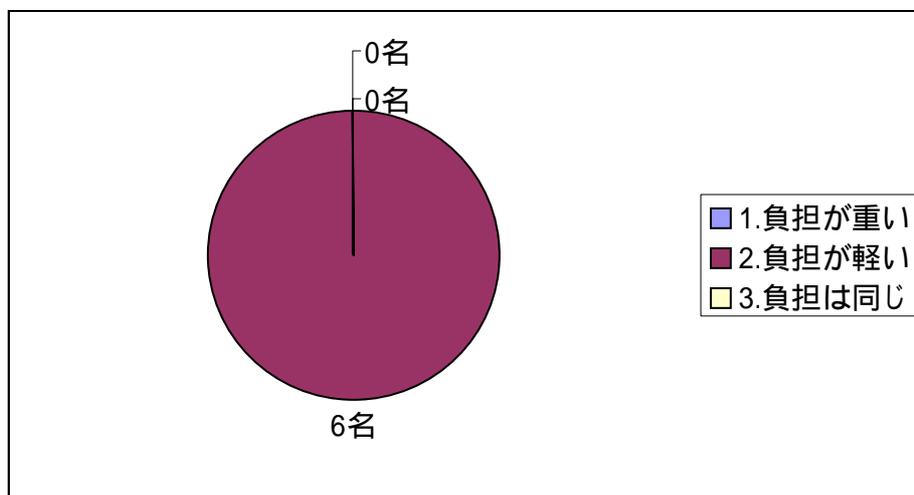


図 4-8-8 通常の授業との比較の回答結果

その負担の内容として、3次元VRシステムの負担点の回答結果を見ると、1.
 システムの操作の5名が一番多く、2.通信相手との日程、時間調整が4名で続い
 ている。このことから、システムの操作や日程、時間調整など本来の授業内容と
 は直接関係無いことに時間、労力を取られることを負担と感じていると思われる。

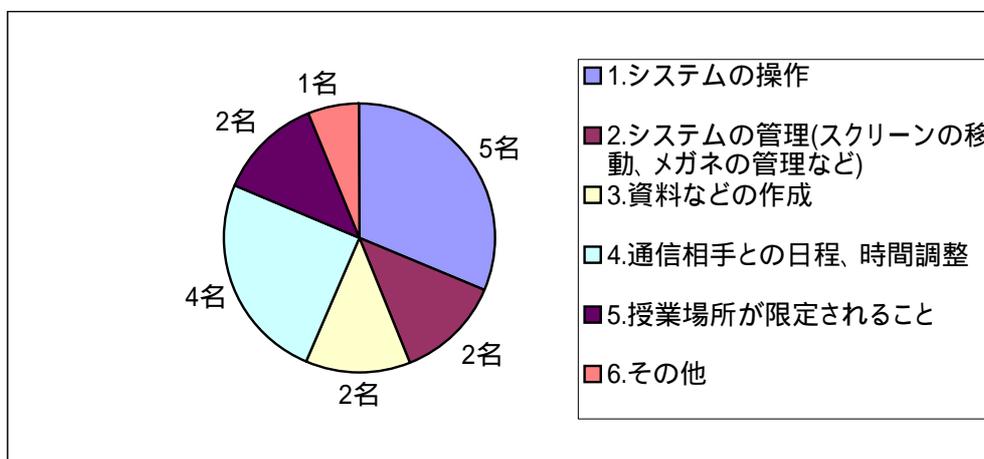


図 4-8-9 3次元VRシステムの負担点の回答結果

3次元VRシステムの負担点の回答結果を3.資料の作成、5.授業場所が限定さ
 れることを本来の授業でも起こりうる状況、1.システムの操作、2.システムの管
 理、4.通信相手との日程、時間調整を本来の授業では起こりえない状況として、
 まとめたグラフを図4-8-10に示す。また、その他の回答内容が、システムの不具
 合に関するものであったので、本来授業では起こりえない状況に含める。

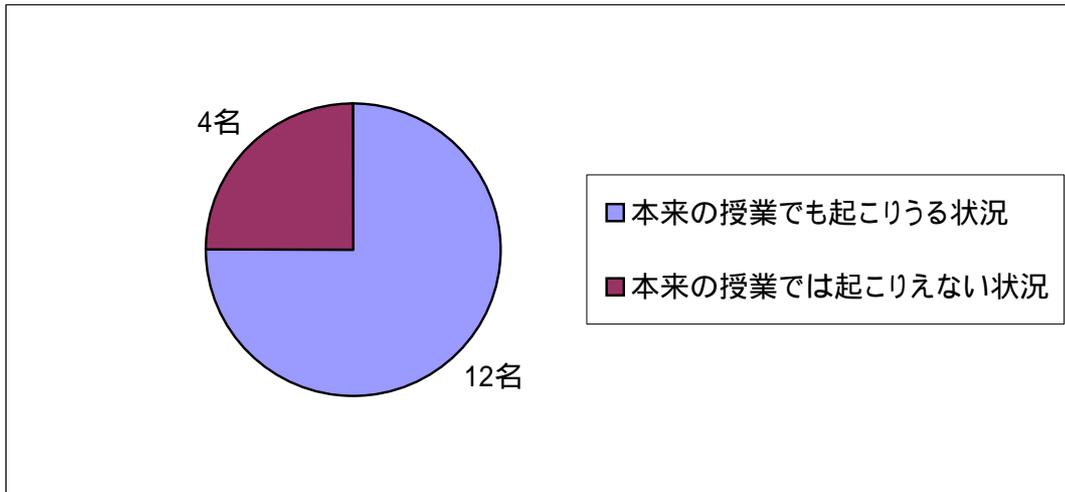


図 4-8-10 負担となる状況

また、3次元VRシステムの利用の回答結果を見ると、全ての教諭がスタンドアロンでの利用を希望している。

その理由として3次元VRシステムによる負担の軽減点の回答結果より、形状の伝達や生徒の興味の喚起に、3次元VRシステムが有効であると考えていることがわかる。

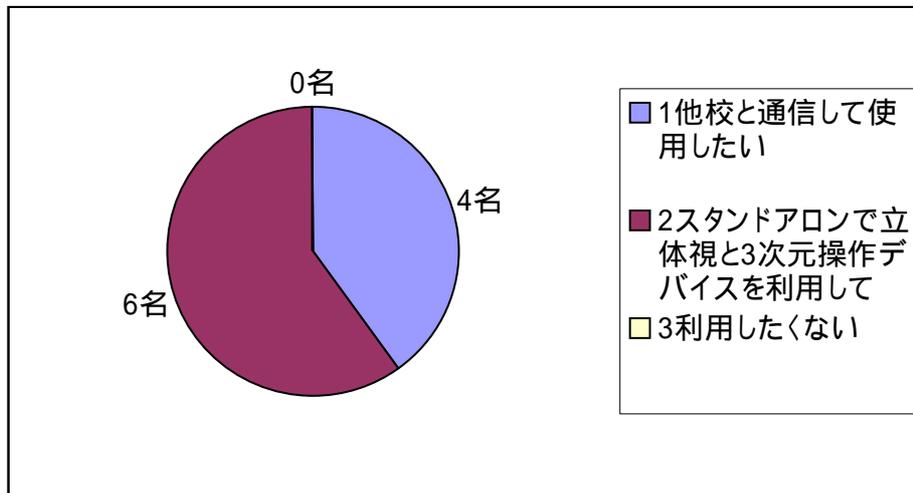


図 4-8-11 システムの利用の回答結果

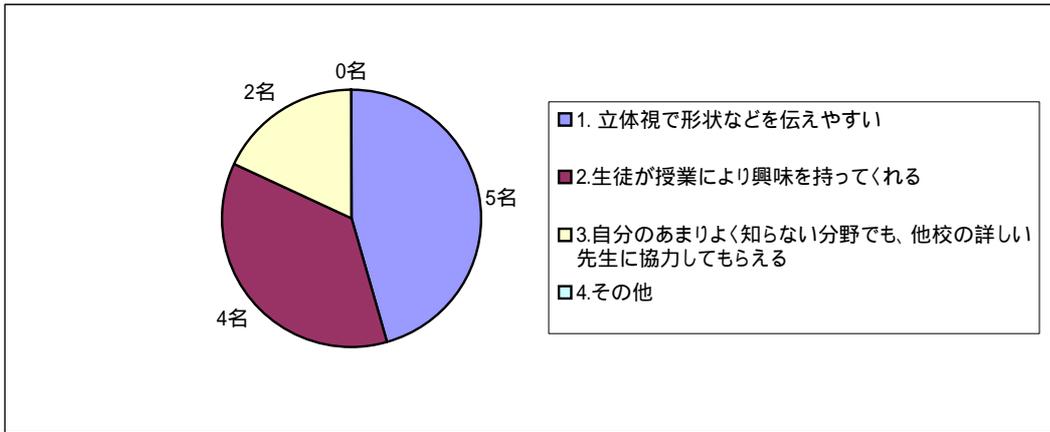


図 4-8-12 3次元VRシステムによる負担の軽減点の回答結果

9 その他

9.1 実験仕様、手順

【実験仕様概要】

(1) 学習者への影響

3次元VRシステムを用いて立体映像を閲覧する時間を変えて、2度の授業を行う。それぞれの授業終了後メガネを掛けての授業に関して疲労度、メガネが気になるかについてのアンケートを行い、比較検証する。

図 4-9-1 に実証実験の実験構成図を、図 4-9-2 に各実験拠点での機器構成図を示す。

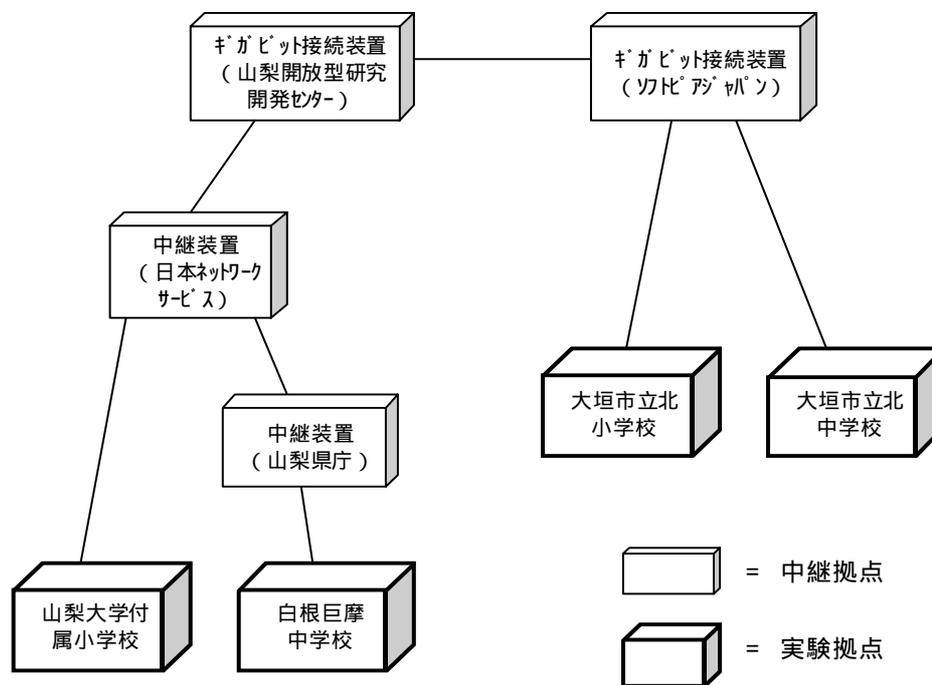


図 4-9-1 学習者への影響実証実験構成図

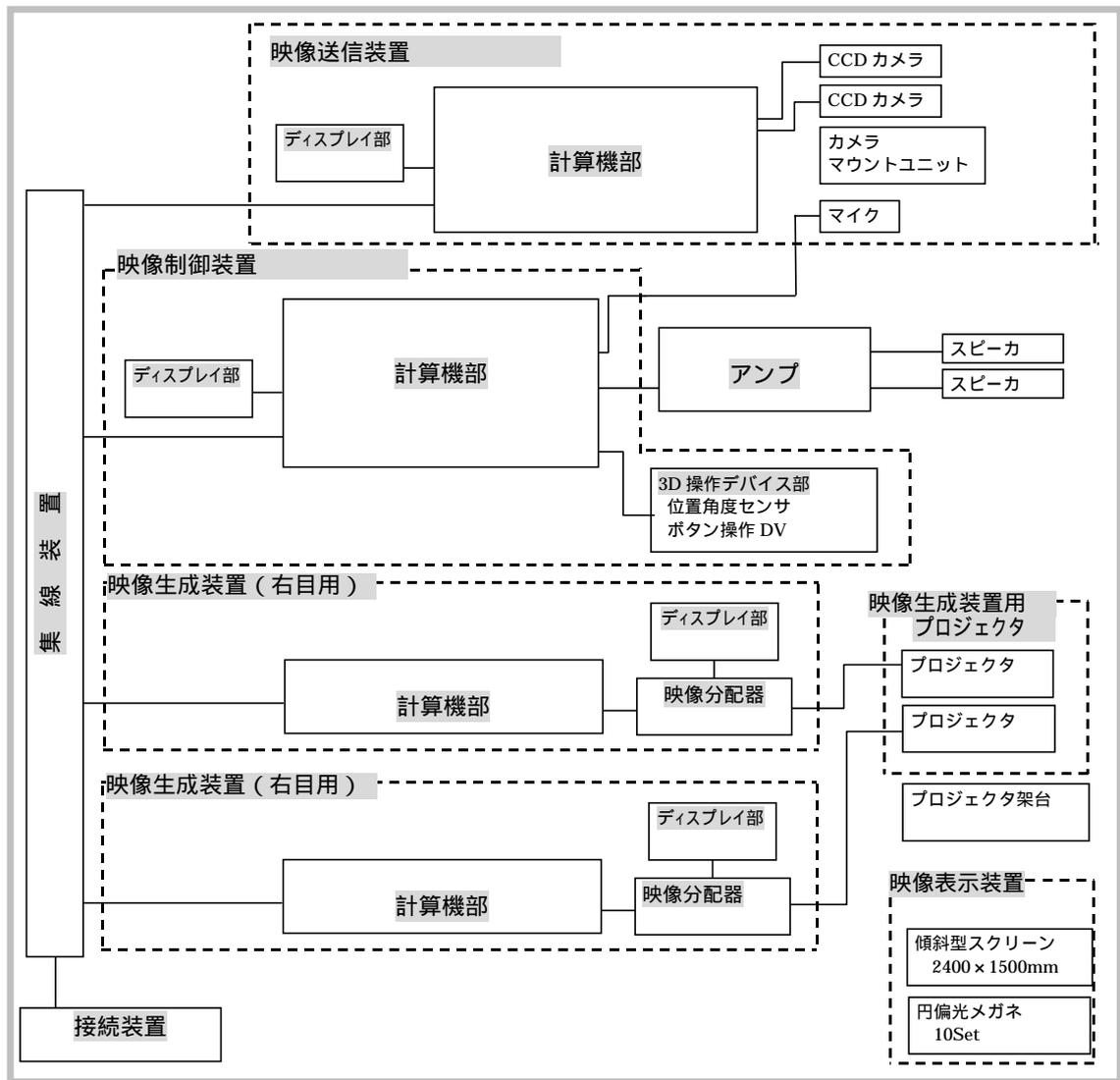


図 4-9-2 各実験拠点機器構成図

【実験手順】

立体映像の閲覧時間が約60分の場合

- ア. 山梨大学附属小学校、白根巨摩中学校、岐阜県大垣市立北小学校、大垣市立北中学校の3次元VRシステムを起動し、4校間双方向通信が可能な状態にする。
- イ. 被験者(指導者、各校の児童、生徒)に円偏光メガネを掛けて、傾斜スクリーンの前で準備をしてもらう。
- ウ. 3次元3次元VRシステムを起動し、立体映像を閲覧してもらう。
- エ. 以上、終了後、学習者への影響実証実験用アンケートに記入してもらう。

立体映像の閲覧時間が約20分の場合

- ア. 白根巨摩中学校、大垣市立北中学校の3次元VRシステムを起動し、2校間で双方向通信が可能な状態にする。
- イ. 被験者(指導者、各校の児童、生徒)に円偏光メガネを掛けて、傾斜スクリーンの前で準備をしてもらう。
- ウ. 3次元VRシステムを起動し、立体映像を閲覧してもらう。
- エ. 以上、終了後、学習者への影響実証実験用アンケートに記入してもらう。
- オ. また、山梨附属小学校、大垣市立北小学校の2校間でも同様の実験を行う。

学習者への影響実証実験用アンケート項目

(A)メガネをかけて立体映像を見ていて疲れませんか？

1. とても疲れた
2. 少し疲れた
3. 疲れなかった

(C)メガネをかけて立体映像を見ることは気になりませんでしたか？

1. 気になる
2. 多少気になる
3. 特に気にならなかった

(2)カリキュラムへの取り入れ方法

【実験仕様概要】

山梨県の山梨大学附属小学校、白根巨摩中学校と岐阜県大垣市の市立北小学校、市立北中学校の4校の3次元VRシステムを動作させ、ネットワークを介して白根巨摩中学校に招待した専門家(以下指導者)に各校の教諭の前で国際宇宙ステーションについての授業を行ってもらおう。終了後、各校の教諭にアンケートを行い、どのような分野で3次元バーチャルリアリティ映像を利用すればよいか検討を行う。

図 4-9-3 に実証実験の実験構成図を、図 4-9-4 に各実験拠点での機器構成図を示す。

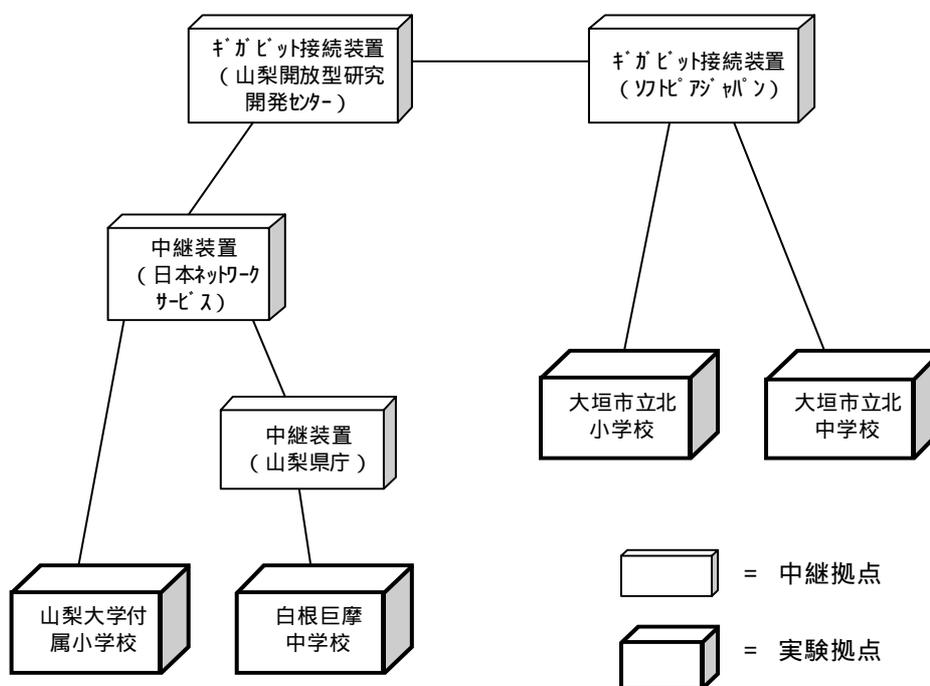


図 4-9-3 カリキュラムへの取り入れ実証実験構成図

【実験手順】

7. 山梨大学附属小学校、白根巨摩中学校、岐阜県大垣市立北小学校、大垣市立北中学校の3次元VRシステムを起動し、4校間双方向通信が可能な状態にする。
1. 被験者に円偏光メガネを掛けて、傾斜スクリーンの前で準備をしてもらう。
9. 国際宇宙ステーションの3次元バーチャルリアリティ映像コンテンツを起動し、3次元バーチャルリアリティ映像を閲覧してもらう。
1. 以上、終了後、以下の内容のアンケートを被験者に記入してもらう。

カリキュラムへの取り入れ実証実験用アンケート項目

(A)このシステムを授業、カリキュラムに取り入れる場合、最適と思われる教科は何ですか。またその理由をお教えてください。

1. 理科生物 / 物理 / 地学 / 化学
 2. 数学/算数 図形 / グラフ
 3. 社会歴史 / 地理
 4. その他 ()
- その理由()

(B)カリキュラムに取り入れるにあたり、システムに求めることは

1. システム操作の簡便性
2. 多様なコンテンツ
3. 容易なコンテンツ作成方法
4. システムの小型化
5. その他 ()

(C)その他、システムについて気づいた点をお教えてください

9.3 実験実施環境

(1) 学習者への影響実証実験

立体視の閲覧時間が約60分の場合

ア. 実験実施場所

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

イ. 実験実施環境構成図

9.2 項の(1)項 項の実験を実施した実験環境の構成図を図4-9-4に示す。

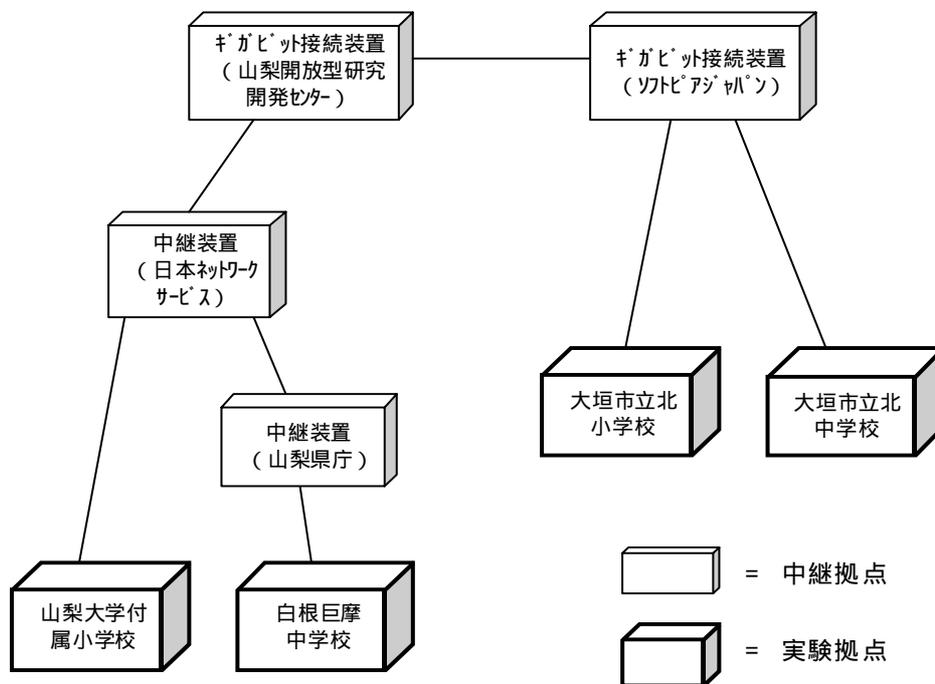


図4-9-4 学習者への影響実験構成図

ウ. 被験者および人数

- ・ 山梨大学附属小学校 児童 6人
- ・ 山梨県白根巨摩中学校 生徒 7人
- ・ 岐阜県大垣市立北小学校 児童 10人
- ・ 岐阜県大垣市立北中学校 生徒 6人

立体視の閲覧時間が約20分の場合

ア. 実験実施場所

中学校間での実験

- ・ 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

小学校間での実験

- ・ 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

イ. 実験実施環境構成図

9.2項の(1)項 項の実験を実施した実験環境の構成図を図4-9-5、図4-9-6に示す。

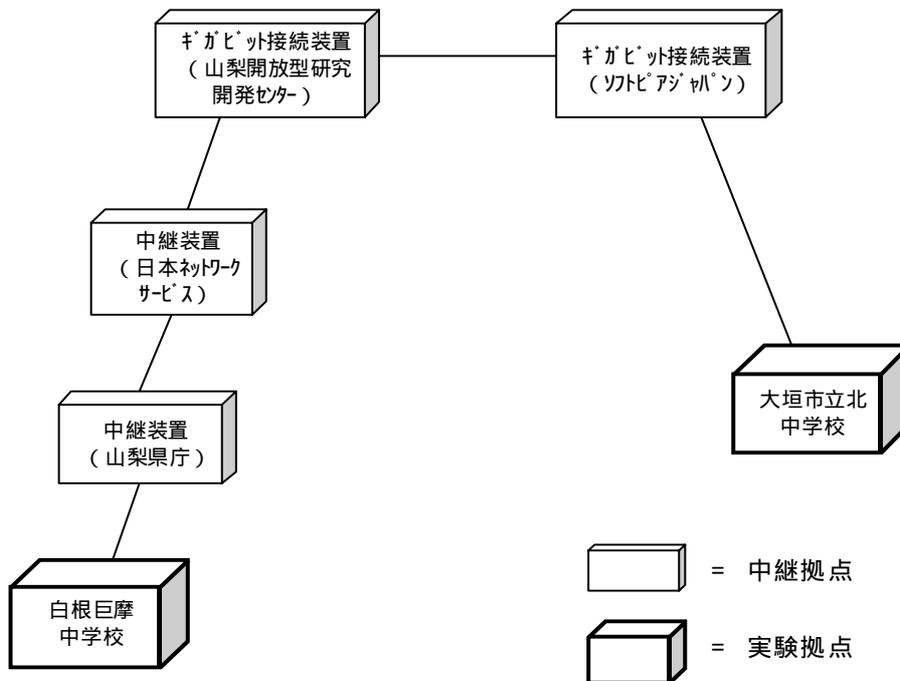


図4-9-5 学習者への影響実証実験実施環境構成図(中学校間)

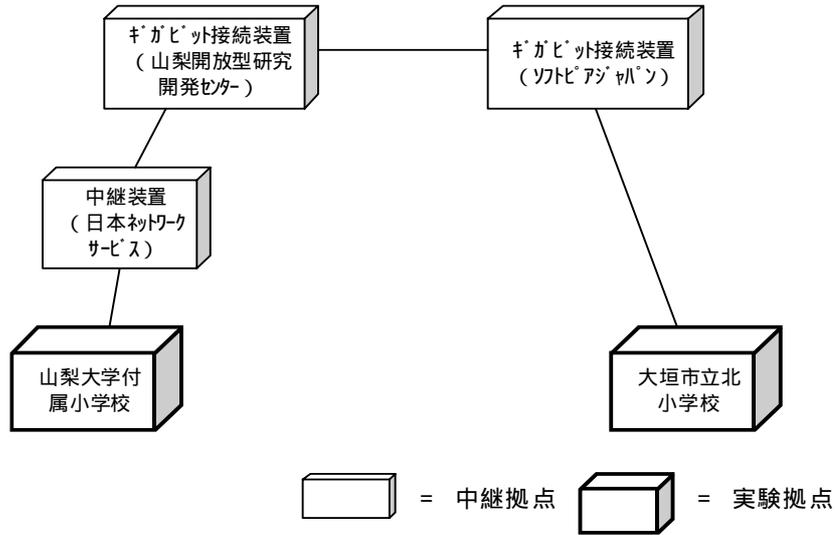


図 4-9-6 学習者への影響実証実験実施環境構成図(小学校間)

ウ. 被験者および人数

中学校での実験

- ・ 山梨県白根巨摩中学校 生徒 6人
- ・ 岐阜県大垣市立北中学校 生徒 6人

小学校での実験

- ・ 山梨大学附属小学校 児童 5人
- ・ 岐阜県大垣市立北小学校 児童 10人

I. 実験風景



写真 4-9-1 学習者への負担実証実験

(2) カリキュラムへの取り入れ実証実験

実験実施場所

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

実験実施環境構成図

9.2 項の(2)項の実験を実施した実験環境の構成図を図 4-9-7 に示す。

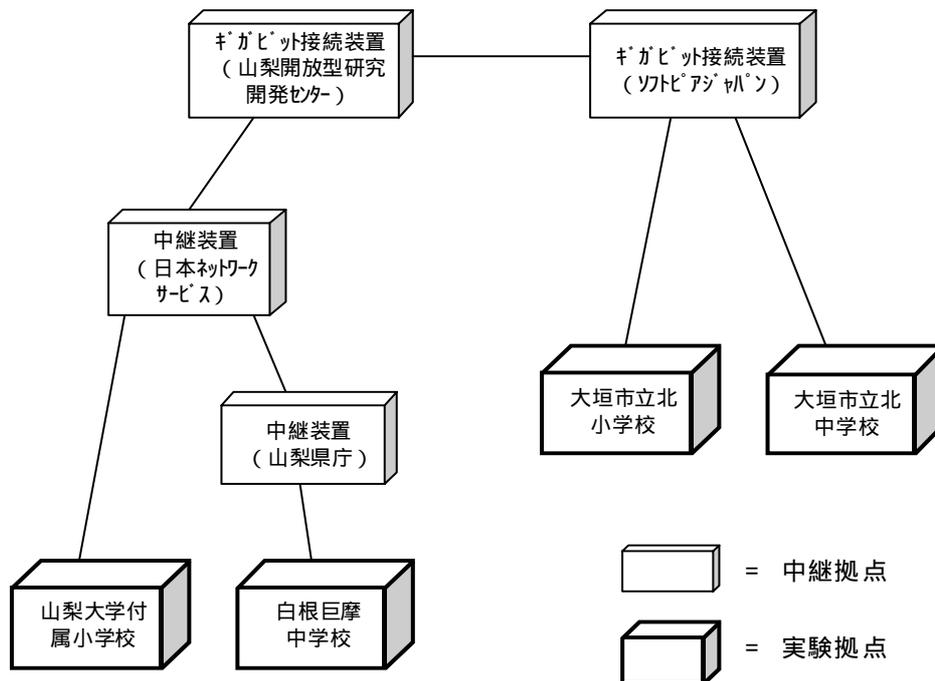


図 4-9-7 カリキュラムへの取り入れ実証実験実施環境構成図

ウ. 被験者および人数

- ・ 山梨大学附属小学校 教諭 2人
- ・ 山梨県白根巨摩中学校 教諭 2人
- ・ 岐阜県大垣市立北小学校 教諭 2人
- ・ 岐阜県大垣市立北中学校 教諭 2人

9.4 実験実施結果

(1) 学習者への影響

立体映像の閲覧が約60分の場合

9.2項(1)項 項I.で行ったアンケートの結果を示す。

(A) 立体映像閲覧の疲労度の設問

【回答結果】

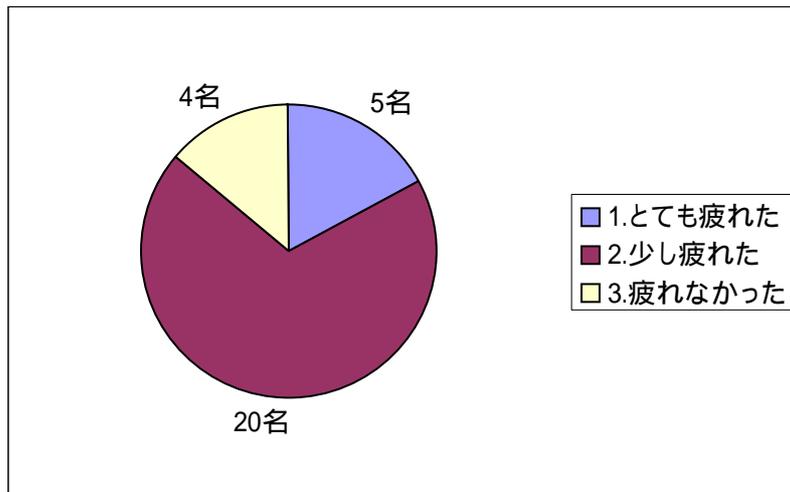


図 4-9-8 立体映像閲覧の疲労度の回答結果

(B) メガネによる集中度の障害の設問

【回答結果】

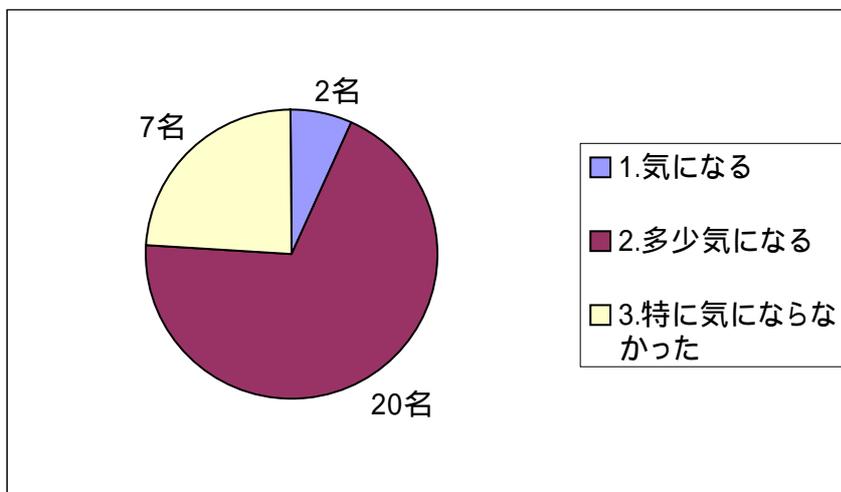


図 4-9-9 メガネによる集中度の障害の回答結果

立体映像の閲覧が約20分の場合

9.2項(1)項 項I.およびII.で行ったアンケートの結果を示す。

(A)立体映像閲覧の疲労度の設問

【回答結果】

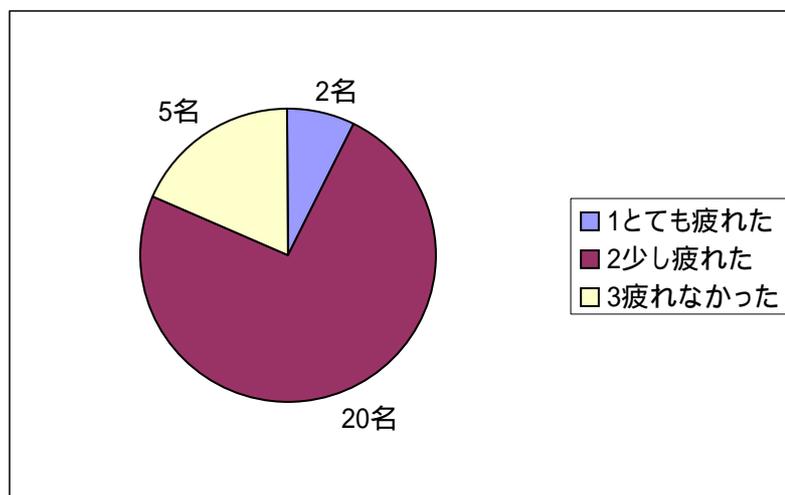


図 4-9-10 立体映像閲覧の疲労度の回答結果

(B)メガネによる集中度の阻害の設問

【回答結果】

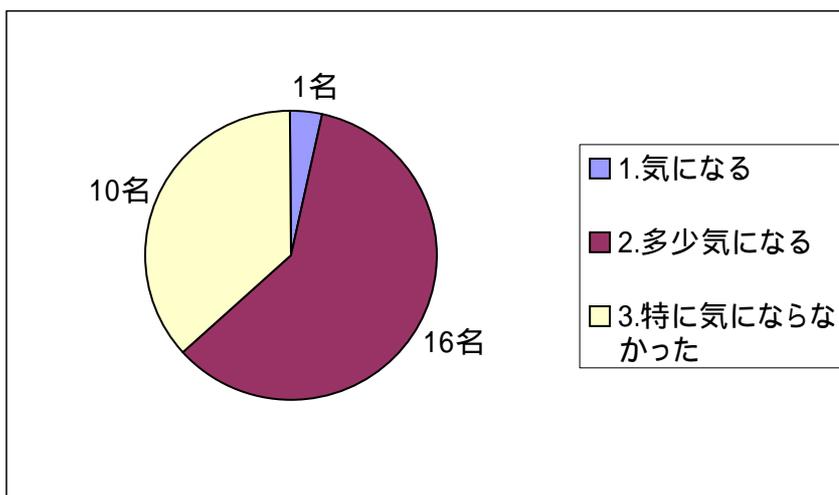


図 4-9-11 メガネによる集中度の阻害の回答結果

(2) カリキュラムへの取り入れ

9.2 項(2)項I. で行ったアンケートの結果を示す。

(a) カリキュラムへ取り入れる場合の教科の設問

【回答結果】

複数回答あり 総回答数 9

生物、図形、歴史などの副項目のみの回答は教科を選択した物として集計

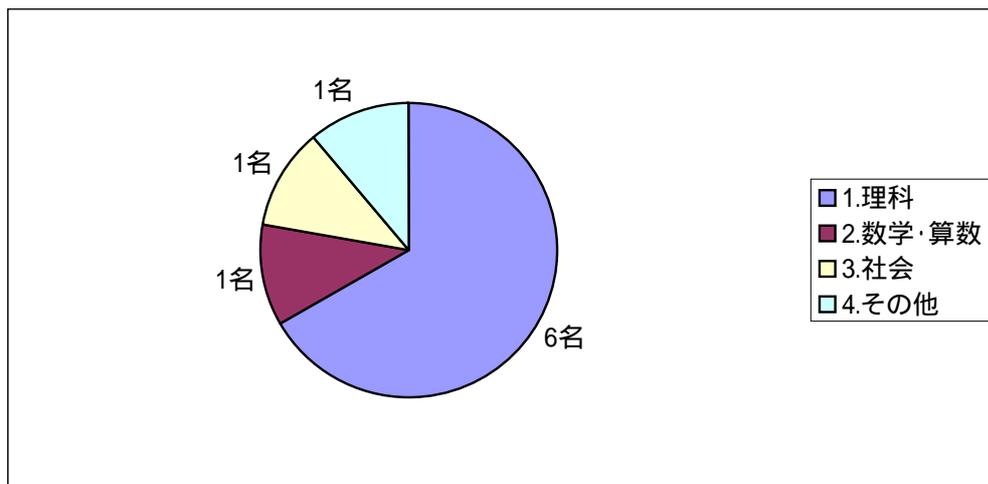


図 4-9-12 カリキュラムへ取り入れる場合の教科の結果

その他の具体的記述として以下の回答があった。

- ・総合学習(交際交流などで)

理科の内容についてその内訳を記す。

複数回答あり 総回答数 20

教科のみの回答は、副項目全てを選択したとして集計

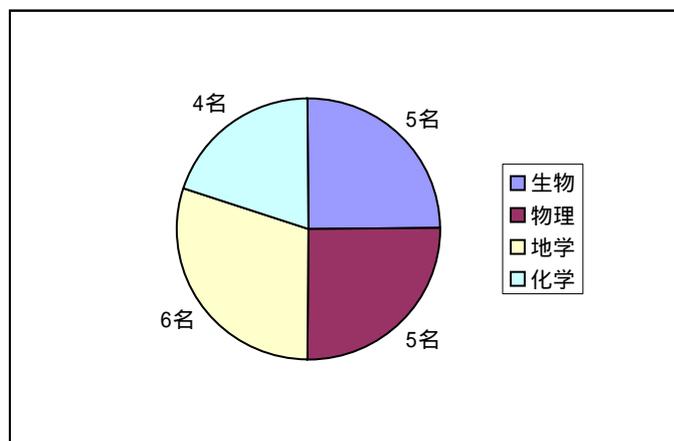


図 4-9-13 理科の内訳

理由の具体的記述として以下の回答があった。

理科、社会

- ・直接見ることが出来ないマクロ及びミクロの世界を見たり、外観でしかみることができないものの中のしくみ等を調べたり出来るので。

理科

- ・目にみえないものや、見ることの出来ないものの説明には最適である。原紙や分子の説明、体内の説明など。

理科 地学

- ・大きなものをダイナミックに例示することができる。実験できないものを表示できるところがよい。立体視もできる。

理科、数学 図形

- ・見えない部分が見えるようになる。

(b) 3次元VRシステムへの要求の設問

【回答結果】

複数回答あり 総回答数 13

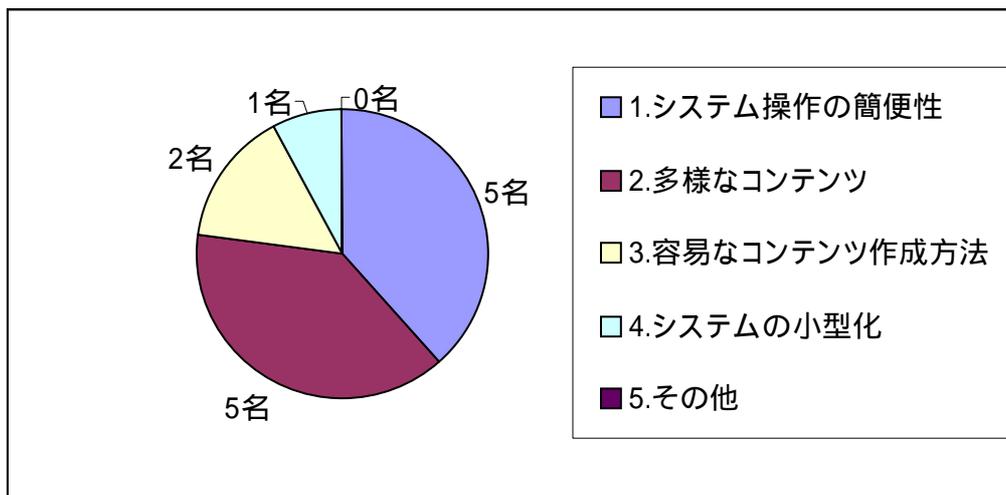


図 4-9-14 3次元VRシステムへの要求の回答結果

(C) 3次元VRシステムについて気付いた点の設問

【回答結果】

回答結果を具体的記述のまま記す。

- ・生徒が興味感心を示し“ビックリ”してくれてよかった。
- ・やはりつかい勝手のよさをどうするか、です。半日も前から準備となるとつかいにくいです。
- ・安全性を求めたい。どの教師も簡便に使えるものでないといけない。

・音声のタイムラグを無くせるとよい。マイクを通して話をした内容が他会場で流れる音をまたマイクがひろい、2重3重に聞こえる点があります。

・3Dカメラを気軽に野外で録画できるようになるといい、子供たちがコンテンツ作りができるようになると、受信するためのシステムから、表現・発信および知の財産を蓄えられるシステムになっていくと思う。また、こうしたシステムになれば、授業での活用の幅が広がり、システム等の発展にもつながっていくと思う。

9.5 結果と考察

(1) 学習者への影響

立体映像の閲覧時間が約60分の場合と閲覧時間が約20分の場合とで疲労度の回答結果を比較すると、約60分の場合では「とても疲れた」の回答率が17%なのに対し、閲覧時間が約20分の場合では7%である。

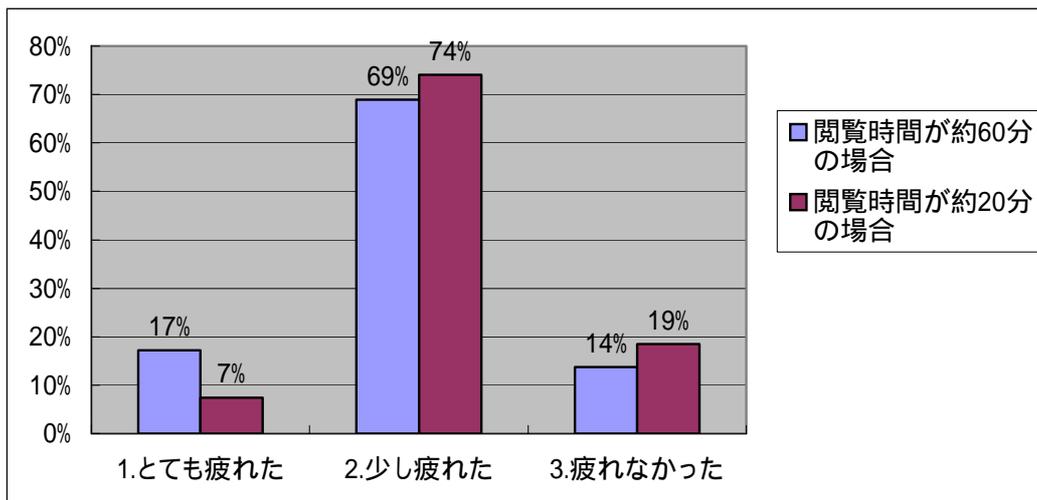


図 4-9-15 閲覧時間による疲労度の違い

立体映像の閲覧時間が約60分の場合と立体映像の閲覧時間が約20分の場合とで、メガネによる集中力の阻害の回答結果を比較すると、「特に気にならなかった」の回答率が、閲覧時間が約60分の場合では24%なのに対し、20分の場合では37%であった。

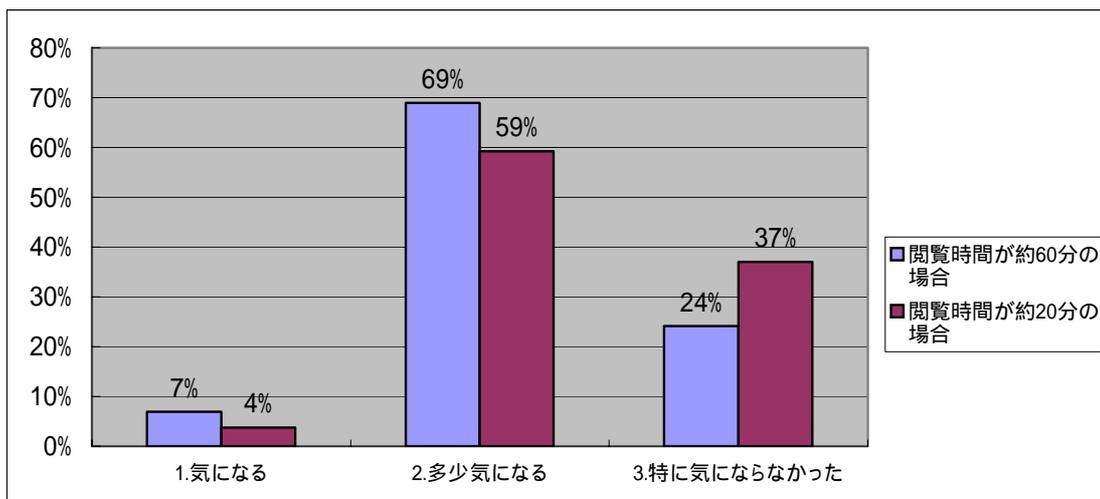


図 4-9-16 閲覧時間による集中力の阻害の違い

以上の結果から、学習者に大きな負担を与えること無く、また、集中力を持続させる上でも、立体映像を使用した授業では立体映像の閲覧時間を短くする必要があると考えられる。

(2)カリキュラムへの取り入れ

9.4 項(2)項のカリキュラムへ取り入れる場合の教科の回答結果から、全ての教諭が3次元VRシステムを使用する教科は理科が適していると考えている。また、その理由として、具体的理由から、通常の授業において実物を見せることができない物を、3次元バーチャルリアリティ映像を用いれば見せることが可能となるのが3次元VRシステムの最も有効な点であると考えていることがわかる。

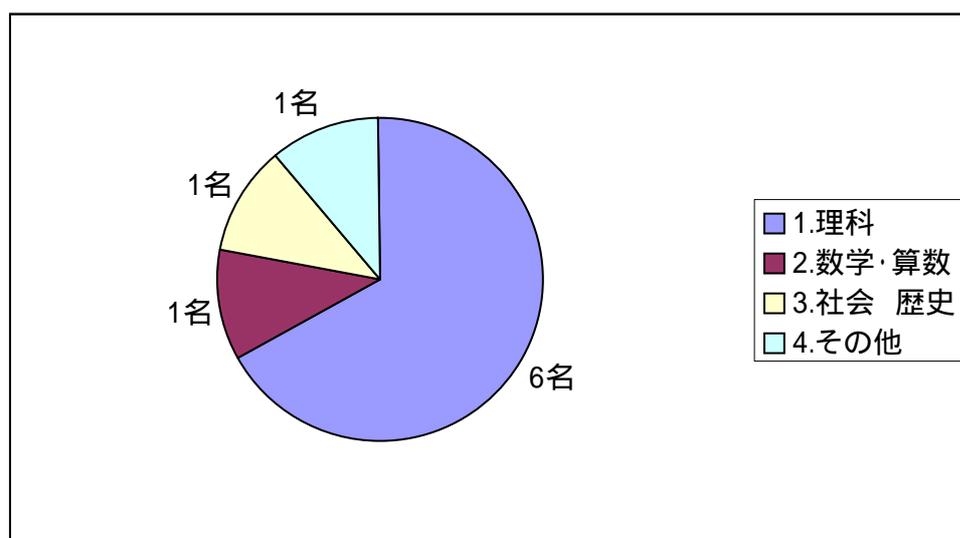


図 4-9-17 カリキュラムへ取り入れる場合の教科の回答結果

* 理由の具体的記述

- ・直接見ることが出来ないマクロ及びミクロの世界を見たり、外観でしかみることができないものの中のしくみ等を調べたり出来るので。
- ・目にみえないものや、見ることの出来ないものの説明には最適である。原紙や分子の説明、体内の説明など。
- ・大きなものをダイナミックに例示することができる。実験できないものを表示できるところがよい。立体視もできる。
- ・見えない部分が見えるようになる。

3次元VRシステムへの要求の回答結果および3次元VRシステムについて気付いた点の回答結果より3次元VRシステムをカリキュラムに取り入れる場合、システムの操作の簡便化が必要であることがわかる。

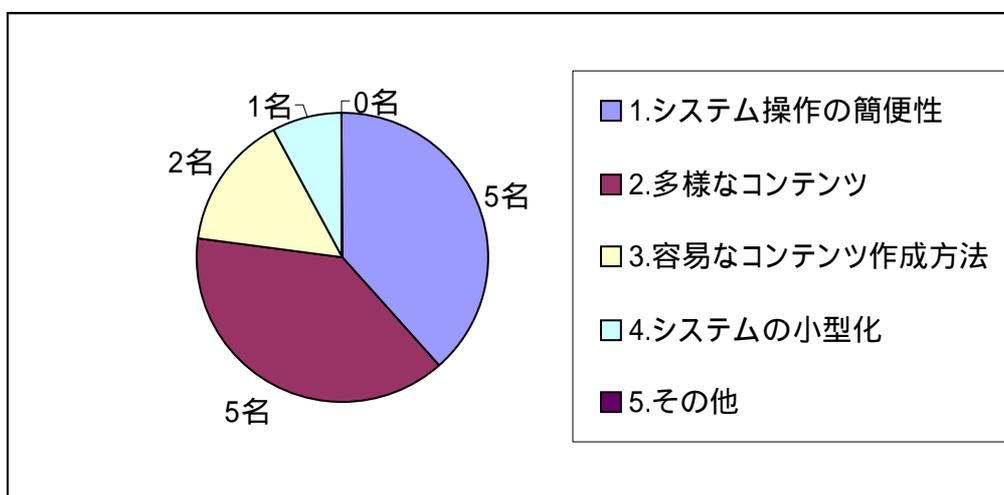


図 4-9-18 3次元VRシステムへの要求の回答結果

(C) 3次元VRシステムについて気付いた点の設問

【回答結果】

回答結果を具体的記述のまま記す。

- ・生徒が興味感心を示し“ビックリ”してくれてよかった。
- ・やはりつかい勝手のよさをどうするか、です。半日も前から準備となるとつかいにくいです。
- ・安全性を求めたい。どの教師も簡便に使えるものでないといけない。
- ・音声のタイムラグを無くせるとよい。マイクを通して話した内容が他会場で流れる音をまたマイクがひろい、2重3重に聞こえる点があります。
- ・3Dカメラを気軽に野外で録画できるようになるといい、子供たちがコンテンツ作りができるようになると、受信するためのシステムから、表現・発信および知の財産を蓄えられるシステムになっていくと思う。また、こうしたシステムになれば、授業での活用の幅が広がり、システム等の発展にもつながっていくと思う。

また、ほとんどの教諭が多様なコンテンツを求めており、今後、理科教育教材を中心により実際に授業に即した数多くのコンテンツの開発が必要であるとともに、教諭が自分でコンテンツを作成できる手法を確立する必要がある。