3D 映像教材作成システムの開発：ステレオ映像編成ツール

近畿大学大学院　横前 拓磨　井口 信和　越智 洋司　溝渕 昭二　向井 苑生

■ 概要 ■

立体映像は，従来の２次元映像と比較し，より詳細な情報を学習者に提供できる。このことから，立体映像は新たな教育コンテンツとしての可能性を秘めている。しかし，ステレオ視に関する専門的な知識が無い講師が教育現場において，教材として利用するステレオ映像を作成し，実用化を図るには技術的課題がある。そこで，我々は新たな教材として可能性を秘めた立体映像を教材として取り込むため，専門的な知識のない講師による立体映像の作成を支援するシステムを開発する。２チャネルの映像を用いて立体映像を再現するステレオ視では，録画時およびネットワークを介した伝送時に映像チャネル間の同期がずれるため，再生時に立体映像が再現できないという，時刻同期の問題が発生する。本論文では，録画時および伝送時に発生した時刻非同期の問題を解決する。映像の録画時に発生した非同期問題を解決するため，視差情報と輪郭画像を重ね合わせて提示し，映像チャネル間の再生を開始するタイミングをコンテンツ作成者が調節する方法を用いる。次に，伝送時に発生する非同期問題を解決するため，伝送用に１チャネル映像を編集し，生成する。それぞれの解決手法を映像同期化機能と映像編集機能に実装したステレオ映像編成ツールを開発する。

■ 1．はじめに ■

立体映像は，人間が日常的に見ている世界を再現することができる。また，物体の表面形状や空間の奥行きといった情報を含むため，従来の２次元メディアよりも高い臨場感を生み出すことが可能である。このことから，立体映像を教育メディアに利用することで，学習者にとって有効な情報の提供ができると考えられる。近年では，さまざまな立体映像用の表示機器が開発され［1］，すでに３D 映画をはじめとするエンターテイメントの分野や，医療支援［2］といった分野では，立体映像の実用化が始まっている。

教育の分野では，これまでハイビジョン映像を用いた遠隔講義など，高精細な映像メディアが学習者に与える影響などが研究されてきた［3］［4］。近年では，２次元メディアを利用した教育に関する研究に加え，ステレオ映像やホログラムなどを用いた教育に関する研究がされている［5］。教育現場において立体映像を利用する場合，立体映像の録画時，ネットワークによる伝送時，さらに立体映像の再現時において解決すべき課題が残されている。立体映像の再現時に発生する眼精疲労に関する問題は，すでに解決手法が開発されている［6］。一方で，教材として利用する立体映像の作成や伝送に関しては，立体映像を構成する複数の映像チャネル間の非同期問題などの課題が残されている。

本研究では，ステレオ視を用いた立体映像を対象とし，立体映像を遠隔教育へ適用することを目指してきた［7］。ステレオ視による立体映像の再現には２チャネルの映像が必要となる。この時，映像チャネル間の時刻の同期と撮影したカメラの位置関係の同期［8］が重要となる。本論文では，映像チャネル間で発生する時刻の非同期問題を解決するステレオ映像編集システム（以下，本システム）を開発したので，詳細を報告する。カメラの位置関係の非同期問題については続報にて報告する。

本論文では，続く２節において関連研究および，本論文において想定しているステレオ映像を適用する環境を示す。３節ではステレオ視を用いた立体映像再現の原理と，問題点について述べ，４節において問題点に対する解決手法と開発したステレオ映像編集システムについて説明する。５節では本システムに実装した機能を評価する。最後に本論文についてまとめる。なお，本論文における立体映像とは，ステレオ視を用いた立体映像を指す。また，ステレオ視による立体映像の再現が可能な２チャネル映像をステレオ映像と表記する。

■ 2．関連研究および想定環境 ■

ステレオ映像による立体映像コンテンツの作成，およびネットワークによる伝送に関連する研究について述べる。さらに，本論文で想定する，遠隔教育へ立体映像コンテンツを適用する際の環境について説明する。

■ 2.1 ステレオ映像の録画方法 ■

ステレオ映像の録画方法には，専用のビデオカメラを利用する方法，２台のビデオカメラを利用する方法［9］［10］，１台のビデオカメラと鏡などの撮影装置を利用する方法［11］などがある。本研究ではステレオ映像の録画方法として２台の DV カメラを用いる方法を適用する。

専用のビデオカメラを利用する方法と１台のビデオカメラを利用する方法では，ステレオ映像を簡単に録画することができる。しかし，専用のビデオカメラや撮影装置は，特別に開発されたものであるため，一般に購入することが難しく教育現場への導入が困難である。また，１台のビデオカメラで録画する方法では，１画面に２画面分の映像を録画するため解像度が半減してしまう。入手が容易な民生用の DV カメラを２台使用することで，解像度の高いステレオ映像の録画が可能となる。

■ 2.2 ステレオ映像の伝送方法 ■

ネットワークによるステレオ映像の伝送方法には，２チャネル映像を個別に伝送する方法と，２チャネル映像を加工することで１チャネルの映像として伝送する方法がある。ステレオ映像を個別の映像チャネルで伝送する方法は，すでに，信頼性の高い広帯域ネットワークを用いた伝送方法が実用化されている［12］。１チャネルの映像として伝送する方法では，受信側の表示機器に応じた形式に加工した映像を伝送する方法［13］などが提案されている。本研究では，ステレオ映像を１チャネルの映像として伝送する方法を用いる。

２チャネル映像を伝送する方法では，ステレオ映像を優先的に伝送するなど，ネットワーク QoS（Qualityof Service）を考慮したネットワークが必要となる［14］。また，高精細な映像を伝送するためには，広帯域なネットワークによって送信側から受信側までが接続されている必要がある。利用者として個人の学生を対象とした場合，インターネットなど既存のネットワークでの利用が求められる。しかし，既存のネットワークを利用する場合，ネットワーク QoS が考慮されていないネットワークや狭帯域なネットワークを経由する場合がある。

ステレオ映像を受信側の表示機器に対応した形式に加工し，１チャネル映像として伝送する方法では，送信側において，受信側の表示機器が採用している表示形式に対応した１チャネル映像を用意する必要がある。そこで本研究では，送信側における１チャネル映像への加工処理は表示機器に依存しない形式とする。表示処理は受信側において実行する。これにより，さまざまな表示機器への対応が可能となる。

■ 2.3 ステレオ映像伝送のモデルおよび想定環境 ■

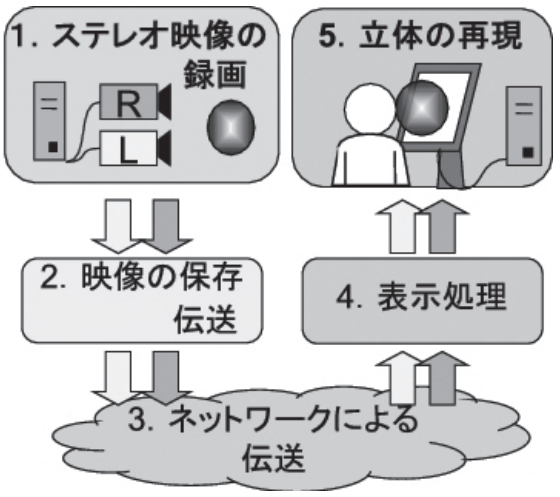


図1　ステレオ映像の録画・伝送のモデル
Fig.1 Model of recoreding and trasmitting stereo video

本論文において想定している，ステレオ映像を教育へ適用する際の環境を図１のモデルを用いて説明する。図１のモデルは，ステレオ映像の録画，伝送，再現の流れを表している。以降，図中の１から５の順番にそって想定する環境について説明する。

■ ステレオ映像の録画 ■

図１の１に該当する。立体映像を教育コンテンツとして使用したい講師は，２台の DV カメラを用いてステレオ映像を録画する。入手が難しい専門的な装置を用いず，２台の DV カメラのみを利用する。この時，２台の DV カメラを用いることで，高精細なステレオ映像を簡単に録画することが可能となる。ステレオ映像を録画することで，貴重なコンテンツを繰り返し利用することができる。

■ ステレオ映像の保存，伝送 ■

図１の２，３に該当する。DV カメラを用いて録画したステレオ映像を PC 上に保存し，インターネットなど既存のネットワークを用いて学習者へ伝送する。既存のネットワークを利用することで，多くの学習者に対し，２次元メディアよりも詳細な映像情報が提供できる。

■ 表示処理，立体映像の再現 ■

図１の４，５に該当する。受信側で表示処理を実施することで，送信側は受信側の表示機器に関係なくステレオ映像の伝送が可能となる。最後にステレオ視用の立体映像表示機器を用いて立体映像を再現し，学習者に提供する。

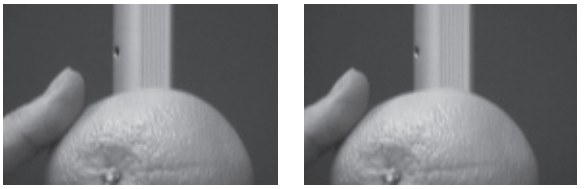
■ 3．ステレオ映像の原理および問題点 ■

立体映像の再現に使用するステレオ視の原理について説明する。また，２．３のモデルを適用する際に解決すべき問題点について説明する。

■ 3.1 ステレオ視を用いた立体映像の再現 ■

本論文において，立体映像の再現にはステレオ視を用いる。ステレオ視はさまざまな立体映像用の表示機器で採用されているため，個人での学習や多人数を相手にした対面講義など，さまざまな場面において立体映像が利用できる。

ステレオ視による立体映像の再現には２チャネルの映像が必要となる。ステレオ視は，両眼視差と呼ばれる人間が立体を知覚する原理を用いて立体映像を再現する。このため，図２(a)(b)のような左眼用の映像と右眼用の映像が必要となる。両画像間には左右方向にずれが存在している。左眼で図２(a) を，右眼で図２(b) を見ることで立体が再現される。本論文では，左眼用の映像を左映像，右眼用の映像を右映像と表記する。



(a) 左眼用の画像　　(b) 右眼用の画像

図２　立体映像の再現が可能な画像のペア
Fig.2 Example of stereo image

■ 3.2 時刻の非同期問題 ■

ステレオ視を用いて立体映像を再現するためには，左映像と右映像からなる２チャネル映像を録画したタイミングと同じタイミングで再生する必要がある。録画したタイミングと異なるタイミングで２チャネル映像を再生した場合，左右の眼に異なる映像が提供されるため，立体映像が再現できない。この問題を，本論文ではステレオ視における時刻の非同期問題と呼ぶ。ステレオ視における非同期問題には時刻同期の問題のほかに，映像チャネル間の高さと色空間がずれてしまう，カメラの位置関係の非同期問題がある。本論文では，時刻の非同期問題について報告する。

■ 3.3 録画，伝送時の時刻の非同期問題とその課題 ■

２．３において述べた想定環境において，非同期問題が発生した場合，立体映像が再現されない。ここでは，図１の１，３において発生する録画時の非同期問題と伝送時の非同期問題について述べる。

■ 3.3.1 録画時の非同期問題 ■

ステレオ映像を録画する方法として２台の DV カメラの利用を想定している。民生用の DV カメラを用いて録画した場合，カメラ間で録画を開始するタイミングを同期させる機構がないため，カメラの固体差が原因となって録画開始のタイミングがずれてしまう。このため，同期した映像が再現できないという問題が発生する。この問題を本論文では録画時の非同期問題と呼ぶ。

録画開始のタイミングがずれた映像のモデルを図３に示す。１つの箱は映像を構成する映像フレームを表している。図３のモデルでは左映像の録画開始のタイミングが２フレーム遅れている。録画終了後，この２チャネル映像を初期位置まで戻し，同時に再生したモデルを図４に示す。図４のモデルでは，R0 と L0 のフレームが提供されず，左右の眼に異なるタイミングの映像が提供されてしまう。このような場合，立体映像が再現されない。さらに，再生時にも再生開始のタイミングにずれが発生する可能性がある。

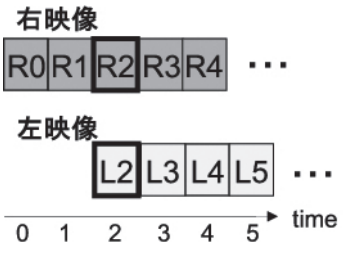


図３ ２台のビデオカメラで録画した映像の例
Fig.3 Model of frames from two cameras

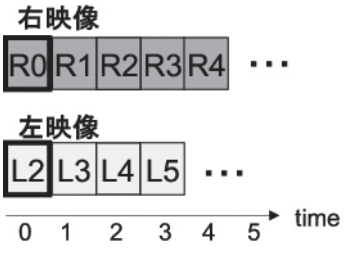


図４ 非同期な映像を同時に再生した例
Fig.4 Example of replaying asynchronization two-channel video

このような非同期問題の解決方法として，録画時にビデオカメラが映像に付加したタイムスタンプを用いて同期させる方法がある。しかし，ビデオカメラ間で時刻が異なる場合，この方法では問題を解決することができない。このほかの解決方法として，外部から同期信号を映像に付加する方法［15］がある。しかし，外部装置を利用する方法では，同期信号を発生させる外部装置のほかに同期信号の入力が可能なビデオカメラが必要となる。

■ 3.3.2 伝送時の非同期問題 ■

録画したステレオ映像を既存のネットワークを用いて伝送することを想定している。インターネットなど既存のネットワークを用いて，２チャネル映像を伝送した場合，映像チャネル毎に異なる遅延が発生し，同期した映像が再現できない場合がある。さらに，ネットワークの状況によっては，経路上でデータの欠損（パケットロス）が発生する場合がある。パケットロスが発生した場合，完全な映像が再生されないため立体映像が再現できなくなる。これらの問題を本論文では伝送時の非同期問題と呼ぶ。

映像チャネル毎に異なる遅延が発生する原因は，２チャネル映像を個別の映像ストリームとして伝送するためである。ネットワークの状況によって，それぞれの映像ストリームが異なる経路を経由する場合がある。このため，映像チャネル間で異なる遅延が発生する。一方，パケットロスが発生する原因は，ネットワーク機器の処理能力を超えた情報が送出された場合に発生するネットワーク輻輳である。ステレオ映像を伝送する場合，２本分の映像ストリームを伝送するため，輻輳が発生しやすい状態となる。

伝送時の非同期問題を解決する方法として，経路上のネットワーク機器に対し，帯域を保証する，他の情報よりも優先的に伝送する，といったネットワーク QoS の制御機能を経路上の機器に実装する方法がある。しかし，これらの QoS 制御は経路上全てのネットワーク機器に実装しなければ効果が少ない。このような方法を既存のネットワークへ適用することは難しい。

■ ４．映像編集による非同期問題の解決方法 ■

3.3 で説明した録画時に発生する非同期問題に対し，録画したステレオ映像を編集することで解決する方法を述べる。

■ 4.1 録画時の問題に対する解決方法 ■

■ 4.1.1 利用者による再生開始タイミングの調節 ■

3.3.1 で説明した非同期問題を解決するため，録画した２チャネル映像に対し再生開始のタイミングを調節する方法を用いる。この方法は，図１のモデルの１における問題を解決する方法である。この方法によって，タイムスタンプが同期していないビデオカメラであっても，同期信号を発生させる装置など特殊な機器を用いずに非同期問題が解決できる。

この方法では，立体映像によるコンテンツ作成者は，２台の DV カメラを使い２チャネル映像を録画する。録画した映像に対し再生開始のタイミングをコンテンツ作成者が調節する。さ

らに，２チャネル映像の同期の状態を判断するために，ステレオ視を用いてコンテンツ作成者が確認する。調節した映像が同期している場合，ステレオ視を用いることで立体映像が再現される。しかしこの時，次の２つの問題が発生する。

■　調節時の問題１　調節時の負担　■

同期していない映像フレームのペアが左右の眼それぞれに提供された場合，立体映像が再現できないだけではなく，眩暈や眼の奥が重くなるといった疲労症状が発生する。

■　調節時の問題２　調節結果の個人差　■

ステレオ視を用いて同期の確認をとる場合，コンテンツ作成者のステレオ視に対する熟練度などによって，調節した結果に差異が発生する場合がある。これらの問題を解決するため，映像の同期を確認する手法として，視差情報を用いる方法を提案する。

■　4.1.2　視差情報を用いた調節支援　■

視差情報を用いることで，4.1.1 で述べた調節時の問題１，２を解決する。視差情報とは，一方の映像上にある点ともう一方の映像上にある対応点までの水平方向の距離である。視差情報は映像内の奥行きに応じて変化する。視差情報は，ステレオ映像内の物体が奥にあるほど小さく，手前にあるほど大きくなる。このため，２チャネル映像が同期している場合，映像チャネル間の視差情報には以下のような特徴がある。

視差情報の特徴１　奥行きの変化が大きく異なる輪郭付近では視差情報の変化も大きい。

視差情報の特徴２　奥行きの変化が小さい場所では，視差情報が一様な値で分布している。

提案する調節方法では，まず，調節の基準となる映像フレーム（以下，基準フレーム）を左右のどちらかから選択し，基準フレームとコンテンツ作成者が選択したもう一方の映像フレーム間の視差情報を提示する。たとえば右映像を基準フレームとした場合，左映像からフレームを選択し同期を調節する。この時，コンテンツ作成者が選択した映像フレームから視差情報を生成し表示する。コンテンツ作成者は生成された視差情報に上記の特徴が存在するか確認し，選択した映像フレームが基準フレームと同期した映像フレームのペアか判断する。

■　4.2　伝送時の問題に対する解決方法　■

3.3.2 で述べた，伝送時に発生する非同期問題を解決するため，ステレオ映像を１チャネル映像へ編成し伝送する。図１のモデルの２および４における解決方法である。

4.1.1 の方法を用いて同期させた２チャネル映像を伝送用の１チャネル映像へ編成する。受信側の表示機器に依存しない形式に編成する。受信側では，ステレオ視用の表示機器に応じた表示処理を実施し，学習者に立体映像を提供する。１チャネル映像として伝送することで，映像チャネルごとに異なる遅延が発生しない。映像チャネル毎の異なる遅延によって発生する非同期問題が解決できる。さらに，１チャネルの DV メディアと同じ３0fps の映像に編成することで，ステレオ映像の伝送時に既存のビデオ伝送ツールの利用が期待できる。

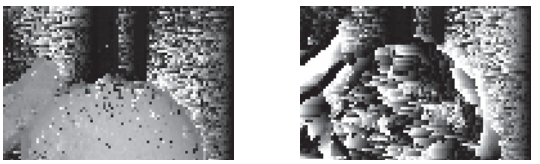
■　4.3　ステレオ映像編集システムの開発　■

ステレオ映像の非同期問題を解決する映像編集システムを開発した。本システムは 4.1 の解決方法を実装した映像同期化機能と，4.2 の解決方法を実装した映像編成機能から構成される。本システムの開発には Microsoft Windows XP Professional SP2 上で Visual C++ を用い，DV メディアを取り扱うために Direct Show および Windows Platform SDK を用いた。また，インタフェースの開発には GUI デザイナが利用でき，イベントの処理が容易に記述できる Qt を利用した。

■　4.3.1　ステレオ映像同期化機能の実装　■

本機能は，フレーム単位で映像チャネル間の再生開始タイミングを調節し，4.1.1 の解決方法を実現する。さらに，4.1.2 で提案した調節方法を実装した。本機能では，右映像のフレームを基準フレームとし，左映像から基準フレームと同期した映像フレームを選択することで，再生開始のタイミングが調節される。

提案した調節方法を実現するため，視差情報を輝度で表した視差画像を生成する機能を実装した。さらに，視差情報を求める際に基準となった画像の輪郭画像を重ねて表示する機能を追加した。視差画像と輪郭画像を重ね会わせて利用者に表示することで，4.1.2 で述べた視差画像の特徴を用いた同期の判定が可能となる。視差画像の生成には，ブロックマッチングアルゴリズム[16]を使用した。図５(a)(b)に視差画像の例を示す。図５(a)は図２から生成された視差画像である。一方，図５(b)は，図２(a)を同期していない映像フレームに差し替えて作成した視差画像である。図５(a)には，4.1.2 で述べた視差情報の特徴が現れている。



(a) 立体映像の再現が可能な２枚の画像から生成した視差画像　　(b) 立体が再現できない２枚の画像から生成した視差画左眼用の画像

図5　差画像の例
Fig.5 Example of disparity map

コンテンツ作成者は本機能を用いて，以下の手順で同期した映像フレームのペアを選択する。

(1) 右映像から基準フレームを選択する。
(2) 左映像から基準フレームとペアとなるフレームを選択する。
(3) 選択されたフレームのペアから視差画像を生成する。
(4) 基準フレームから生成した輪郭画像と視差画像を重ね合わせて表示する。

(5) 表示された視差画像と輪郭画像から，選択したフレームのペアが同期しているかを判断する。

開発した機能のインタフェースを図６に示す。インタフェースの上部では，選択中の基準フレームと左映像フレームを中心に前後２フレームの映像を表示している。インタフェースの下部では，選択中の基準フレームと左映像フレーム，そして中央にこれらの映像フレームから生成された視差画像を表示している。左側は基準フレームから輪郭画像の抽出に用いるパラメータの設定や，輪郭画像の表示非表示を制御する。作成したインターフェイスを用いて，上記手順従った作業を実施することで，コンテンツ作成者は，4.1.2 に記述した特徴 1，2 を持つ映像のペアを簡単に見つけることができる。すなわち，２チャネル映像間の時刻を簡単に同期させることが可能となる。

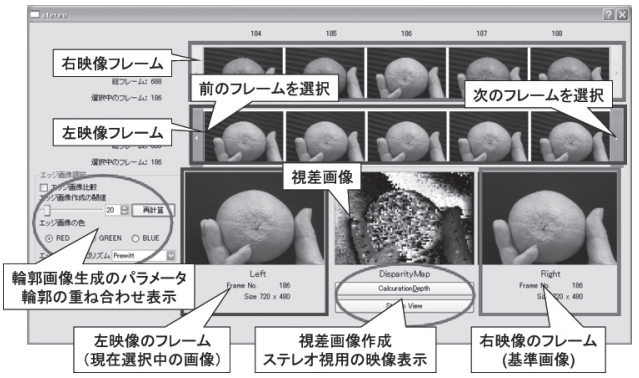


図6　映像同期化機能のインタフェースの例
Fig.6　Interface example of video synchronization fucntion

■　4.3.2　ステレオ映像編成機能の実装　■

本機能は，4.3.1 で実装した映像同期化機能を用いて同期させた２チャネル映像から，4.2 で説明した伝送用の１チャネル映像に編成する。１チャネルに編成された映像は，新たな映像ファイルとして出力される。図７に映像編成方法のモデルを示す。

本機能では，図７の奇数番号の映像フレームを交互に並び替え，２チャネル映像から１チャネル映像へ編成する。映像フレームを交互に並び変えているのみであるため，受信側では，設置されたステレオ視用の映像表示機器に応じた処理が可能となる。さらに，編成時に偶数番号の映像フレームを間引くことで，1 チャネルの DV 映像と同じ 30fps の映像へ編成する。

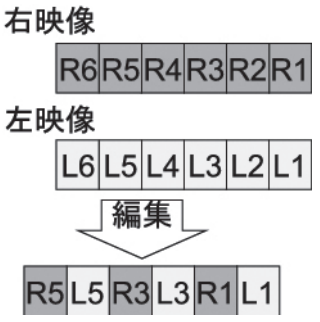


図7　映像の編成方法
Fig.7　Model of video frame permutation

■　5．動作実験および考察　■

事前実験として，２台の DV カメラを用いて録画する実験と，録画した２チャネル映像から立体映像を再現する実験を実施した。次に，映像同期化機能を用いて録画した２チャネル映像を同期させる実験を実施した。最後に，映像編成機能を用いて１チャネル映像に編成し，編成した映像から立体映像を再現する実験を実施した。立体映像の再現には，パララックスバリア方式の裸眼立体視ディスプレイ（Sharp 製 LL-151D）を用いた。

■　5.1　事前実験　■

２台の DV カメラを用いた録画時に，3.3.1 で述べた問題が発生することを確認するための事前実験 1 を実施した。また，非同期問題が発生した２チャネル映像から立体映像が再現されないことを確認するための事前実験２を行った。

■　5.1.1　事前実験１　■

市販の DV カメラを用いて２チャネル映像を録画する実験を実施した。

方法　同一機種の DV カメラを２台並べ，２チャネル映像を録画した。同一機種のカメラを利用することで，１つの赤外線リモコンを用いて同時に２台のカメラが操作できる。実験には２機種の DV カメラを用意し，赤外線のリモコンを使って録画を開始する方法で２チャネル映像を５回録画した。手動で録画を開始する方法でも同様に５回録画した。録画後，録画開始のタイミングに遅延が生じているか調べた。

結果　録画した全ての映像チャネル間で，録画開始のタイミングに遅延が生じた。使用した DV カメラの種類と各録画方法で発生したタイミングの遅延の平均値を表 1 に示す。赤外線リモコンを利用した場合であっても，録画開始のタイミングに遅延が発生していることがわかる。このことから，２台の DV カメラを用いて録画した場合に，非同期問題が発生することを確認した。

カメラ（各２台使用）	手動による録画	リモコンによる録画
Victor GR-X5	0.10	0.06
Victor GR-HD	1.60	0.27

表1　録画タイミングの遅延 (second)
Table.1　Difference of time to start recording (second)

■　5.1.2　事前実験２　■

同期していない２チャネル映像を立体映像として再生する実験を実施した。２チャネル映像の録画には，事前実験 1 の結果から録画開始タイミングの遅延が小さかった機種（Victor GR-X5）を用いた。

方法　手動で録画ボタンを押す方法を用いて録画した２チャネル映像を 20 名の被験者に表示した。２チャネル映像に対し裸

眼立体視ディスプレイ用の表示処理を実施し，立体映像が再現されているか被験者に質問した。
結果　実験の結果，全ての被験者は提示された２チャネル映像から，立体が再現されなかったと回答した。このことから，時刻の非同期問題によって立体映像が再現できないことが確認できた。

■　5.2　映像同期化機能の動作検証および評価　■

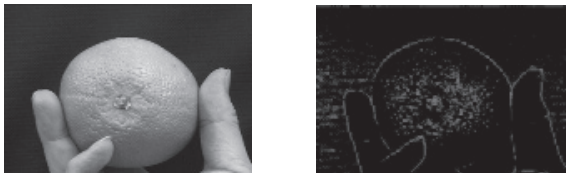
本実験では，４．１で述べた解決方法により録画時に発生した非同期問題の解決が可能かを検証した。まず再生開始のタイミングを調節することで映像を同期させることが可能かを検証した。次に，4.1.2 で提案した調節方法を用いて調節し，4.1.1 で述べた調節時の問題に対し有効かを検証した。以降，ステレオ視のみを用いて調節する方法を調節方法１とし，4.1.2 で提案した調節方法を調節方法２と表記する。

■　5.2.1　映像同期化機能を用いた実験　■

開発したステレオ映像編集システムの映像同期化機能を用いて，20 名（学部生および大学院生）の被験者に調節方法１および２を用いて２チャネル映像を同期してもらい，調節方法ごとに結果を記録した。実験には，事前実験２において立体映像が再現できなかった２チャネル映像を用いた。映像の内容は，表面に凹凸のある果実（オレンジ）が画面奥から手前に移動する映像である。

調節方法１では，常に裸眼立体視ディスプレイを使用し，基準フレームのペアとなる映像フレームを左映像から選択してもらった。調節方法２では，調節結果の確認時にのみ裸眼立体視ディスプレイを用いた。図８(a)(b) は実験で使用した基準フレームである右映像のフレームと，基準フレームから生成した輪郭画像を示す。

調節後，全ての被験者に対し，映像を同期させる調節作業の容易さと，作業時の眼の疲労について比較するアンケートを実施した。アンケートは，調節作業が容易であった調節方法と，作業時に眼の疲労を感じた調節方法を調節方法１と２で比較してもらった。被験者には２つの質問に対し，５段階の選択肢｛提案手法２（５点），どちらかといえば提案手法２（４点），同じぐらい（３点），どちらかといえば調節方法１（２点），調節方法１（１点)｝から回答してもらった。



(a) 基準フレーム　　(b) 基準フレームから生成した輪郭画像

図８　基準フレームと基準フレームから生成した輪郭画像
Fig.8　Base frame and edge image that generated from base frame

■　5.2.2　映像同期化機能を用いた実験の結果　■

それぞれの調節手法を用いて，再生開始のタイミングを調節してもらった結果，調節方法１では１名の被験者が調節できなかった。一方，調節方法２では全ての被験者が調節できた。

アンケートの結果は，映像を同期させる調節作業の容易さが平均４．１，標準偏差１．３となった。また調節作業時の眼の疲れに関しては，平均１．４，標準偏差 0.68 となった。

最後にそれぞれの調節方法による調節結果を示す。図９は調節結果のヒストグラムである。フレーム番号ごとに，番号を選択した被験者の数を表す。フレーム番号は基準フレームの番号を０としたときの番号である。

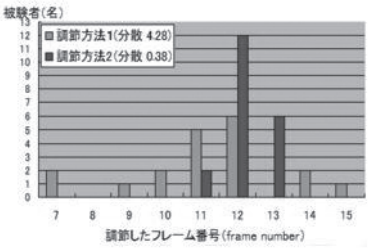


図９　選択されたフレームごとの被験者の分布

Fig. 9　Distribution of Subjects by selected frame number

■　5.2.3　映像同期化機能に対する考察　■

実験の結果，再生開始のタイミングを調節した映像から，立体映像が再現されることを確認した。このことから，映像チャネル間で再生を開始するタイミングを調節することで，同期した２チャネル映像の再生が可能であると分かる。

次に，アンケートの結果から，同期させる作業の容易さに関しては，個人により差があることが分かった。一方，作業時の眼の疲労感に関して，全ての被験者が調節方法２の方が調節方法１に比べて眼が疲れないと感じていることが分かった。

調節結果から，被験者が選択したフレーム番号の分布を調べると，調節方法１では平均 11.3（標準偏差 2.03），調節方法２では平均 12.2（標準偏差は 0.60）だった。いずれの調節方法でも，第 11 フレームか第 12 フレームを選択する被験者が最も多かった。しかし，調節結果の標準偏差を比較すると，調節方法２は明らかに調節方法１よりも標準偏差が小さい。このことから，調節方法２を用いることで，調節結果の個人による差を抑えることができたといえる。これらの結果から提案手法である調節方法２は，調節時の問題に対し有効である。

チャネル映像を同期させる作業の簡便化と調節精度を向上させる方法について考察する。映像間にずれが発生した場合，撮影対象物の移動方向によって，ステレオ視の利用者に与える違和感や疲労感の度合いが異なることが報告されている［17］。このことから，コンテンツ作成者が映像を同期させる際の容易さと調節精度には，撮影対象物の移動方向が関係していることが考えられる。同期させる調節作業の容易さや調節制度の向上を図るためには，基準フレームとして選択する場面について工夫することが有効だと考えられる。また，視差情報と輪郭画像を数値で評価することができれば，映像同期化機能の自動化が

可能となる。自動化が実現すれば，コンテンツ作成者の負担をさらに軽減することができる。

■ 5.3 映像編成機能の動作検証 ■

本実験では，実装した映像編成機能によって伝送時の非同期問題の発生を抑制する１チャネル映像に編成されているかを検証した。このため，まず映像編成機能が出力した映像ファイルに対し，図７のモデルに従って映像が編成されているかを調べた。さらに，編成された１チャネル映像から立体映像が再現可能かを検証した。

■ 5.3.1 編成した映像に対する実験方法 ■

実装した映像編成機能に，５．２で同期させた２チャネル映像を入力し，１チャネル映像に編成した。出力された映像ファイルを再生し，元の２チャネル映像と比較した。さらに，出力された映像ファイルと元の２チャネル映像のファイルのサイズを調べた。

編成した１チャネル映像から立体映像が再現可能かを５．２と同じ被験者に確認してもらった。実験では，１チャネル映像から立体映像を再現するため，著者らが開発したステレオビデオ伝送ツール［18］に対し，送信側と受信側の機能を改良した。送信側では編成した１チャネル映像にフレーム番号を付加して伝送し，受信側ではフレーム番号から受信した映像フレームが左右どちらの映像フレームであるかを判断し表示処理を実施するよう改良を施した。２台の PC を 100Mbps の LAN で接続し，改良したビデオ伝送ツールを用いて立体映像を再現した。

■ 5.3.2 編成した映像に対する実験の結果 ■

２チャネル映像を編成した１チャネル映像を再生した結果，１フレーム毎に左右の映像が切り替わっていることを確認した。また，元の映像ファイルと編成された映像ファイルを比較した結果，個別に保存した２チャネル映像は合計で約 158MB であるのに対し，１チャネル映像は約 79MB であった。次に，編成した１チャネル映像から立体映像を再現した結果，全ての被験者から立体感のある映像が見えるという回答が得られた。

■ 5.3.3 編成された映像および実験結果に対する考察 ■

出力された映像ファイルを検証した結果，実装した映像編成機能から，図７のモデルに従って映像が編成されていることが分かった。さらに，１チャネル映像から立体映像の再現が可能であることが分かった。

左右の映像を１フレーム毎に交互に編成しているため，高い解像度を保ったステレオ映像の伝送が可能となる。しかし，立体映像を再現するためには，受信した映像フレームが左右どちらの映像フレームかを判断する必要がある。このため，映像を送信するツールにおいて，フレームの番号を付加して送出するよう改良を加えた。さらに，フレームの番号を付加することで，片方の映像フレームのみが到着しない場合，対応するもう片方の映像フレームを廃棄する制御が可能となる。今回開発した映像編成機能を用いることで，既存のビデオ伝送ツールに対して簡単な改良を加えるだけでステレオ映像の伝送が可能となる。

■ 6．まとめ ■

教育メディア用のステレオ映像の作成を支援する環境の提案を目的として，映像チャネル間で発生する時刻の非同期問題を解決するステレオ映像編集システムを開発した。本システムの開発を通し，以下のような知見が得られた。

（１）録画時に発生する時刻の非同期問題は，映像チャネル間の再生開始のタイミングを調節することで解決できる。

（２）視差情報を用いることで，映像を同期させる際に発生する問題点を解決し，コンテンツ作成者の負担を軽減できる。

（３）２チャネル映像を１チャネル映像に編成し，伝送することで伝送時の非同期問題が解決できる。

本システムによって，映像チャネル間の非同期問題が解決できた。本システムを用いることで容易に立体映像の作成が可能となり，教育メディア用の立体映像の作成を支援する環境が提供できる。さらに，本システムを活用することで立体映像の利用枠を広げ，立体映像の普及にも寄与できる。例えば，博物館の展示品を立体映像に録画し提供する，あるいは専門家の作業中の景色や作業過程を立体映像に保存し，専門技術の伝承・学習への利用が簡単に実現できる。

今後の課題として，撮影時のカメラの位置関係の非同期問題［８］の解決があげられる。５．２の実験においてもカメラの位置関係の非同期が原因と見られる問題が発生し，時間的に同期したステレオ映像からでも立体映像の再現ができない場面があった。カラーチャートを用いたカメラキャリブレーションに関する検討と実装を進めていく予定である。さらに立体映像を用いた教育用メディアを作成し，教育メディアとしての立体映像の有効性についても検討していく予定である。

■ 謝　辞 ■

立体視に関する技術的なご助言と情報を提供して頂きました和歌山大学システム情報学センター内尾文隆教授と Rafael Sierra 氏（現（株）シンクチューブ）に感謝いたします。本研究の遂行にあたり有益なご助言を頂きました三重大学生物資源学部亀岡孝治教授と近畿大学理工学部佐野到准教授に感謝いたします。

【References】

［１］佐藤　誠, 佐藤甲癸, 橋本直己, 高野邦彦：三次元画像工学, コロナ社(2006).

［２］本郷一博，田中雄一郎，小山淳一，草野義和，酒井圭一：若手医師に対するクリッピングのトレーニングについて（＜特集＞脳動脈瘤の治療），脳神経外科ジャーナル，Vol.15, No.12, pp.827－832(2006).

［３］清水康敬，中山　実，宇井　修，菅井勝雄，前迫孝憲，山内祐平，黒田　卓，木村博茂，清水英夫，小杉康宏，大盛雄

司，長谷川正道：ハイビジョンによる衛星遠隔教育の実施と評価, 日本教育工学雑誌，Vol.21, pp.85－88（1997）.
［4］渡辺健次，近藤弘樹：4 . 高精細映像による遠隔授業（＜特集＞通信と放送の融合），情報処理，Vol.47, No. 2 , pp.133－136（2006）.
［5］藤木　卓，森田裕介，寺嶋浩介，柳生大輔，竹田　仰，相原玲二，近堂　徹：原爆を題材としたVR 教材の開発と教育利用（VR 技術の教育利用／一般），電子情報通信学会技術研究報告 . ET, 教育工学，Vol.107, No.391, pp.57 － 62（2007）.
［6］Sierra, R., Gruaz, R., Iguchi, N., Uchio, F. andTaki, H.: Remote Technological Assistance inAgriculture with Stereoscopic Video, The 7thFruit Nut and Vegitable Production EngineeringSymposium-FRUTIC, 2005（2005）.
［7］横前拓磨，井口信和，越智洋司，Rafael, S.，内尾文隆：遠隔教育への利用を考慮した立体視動画像通信システムの設計と実装，電気学会研究会資料 . IIS, 産業システム情報化研究会，Vol.2007,No.14, pp.13－18（2007）.
［8］木村朋博，井口信和，内尾文隆：立体映像表示システムへのカラーチャートを用いたカメラキャリブレーション機能の実装，電気学会研究会資料 .IIS，Vol.2008, pp.49－54（2008）.
［9］橋本　基，渡壁　創，横山正春：ステレオ画像取り込みのためのビデオカメラ同期装置，宇部工業高等専門学校研究報告，Vol.46, pp.9－14（2000）.
［10］松山隆司，高井勇志，ウ　小軍，延原章平：3次元ビデオ映像の撮影・編集・表示，日本バーチャルリアリティ学会論文誌 = Transactions of theVirtual Reality Society of Japan, Vol.7, No.4,pp.521－532（2002）.
［11］関根二郎：立体画像撮影用アタッチメント，特開 2000－ 56412(P2000－56412A（2000）.
［12］超臨場感コミュニケーション産学官フォーラム，独立行政法人情報通信研究機構：立体ハイビジョン IP 伝送の実用化実証実験に成功～高品質３D ハイビジョン映像、家庭への配信にメド～，http://www2.nict.go.jp/pub/whatsnew/press/h20/080602/080602-1.html（2008）.
［13］Noritaka, O., Tomoki, Y., Kikuo, A. andYoshiro, M.: 3D Video Conference ToolkitAdaptable to Various Presentation Environments,The 3rd IASTED International Conferenceon Communications, Internet, and InformationTechnology,, pp.213－219（2004）.
［14］Iguchi, N., Uchio, F. and Kitahashi, T.: Avideo communication method using layeredcoding and packet priority for remote technicalconsultation on the Internet, Proceeding of the2001 IEEE Pacific Rim Conference on Communications,Computers and Signal processing（PACRIM2001）, 9, pp.103－106（2001）.
［15］中村　健，吉留　健，八島由幸：映像同期化装置を用いたマルチチャネル映像符号化伝送システムの開発（高精細画像の処理・表示および一般），映像情報メディア学会技術報告，Vol.26, No.76,pp.7－12（2002）.
［16］大久保榮，角野眞也，菊池義浩，鈴木輝彦：改訂版 H.264/AVC 教科書，インプレス（2006）.
［17］Yui, Y., Takahashi, H. and Nakajima, M.: EFFECTOF FRAME DELAY ON STEREOSCOPICVISION : Relationship betweenFrame Delay and Combinations of Movementsof an Object（International Workshop on AdvancedImage Technology 2005）, 電子情報通信学会技術研究報告 . IE, 画像工学，Vol. 104,No.545, pp.51－55（2005）.
［18］中村宗広，井口信和：立体映像の QoS 制御を可能とする DV 映像伝送システムの開発，電子情報通信学会関西支部学生会第13 回学生会研究発表講演会公演論文集, p.78（2008）.

横前　拓磨
Yokomae　Takuma
近畿大学大学院総合理工学研究科博士後期過程在学 修士（工学）。 情報処理学会会員。

井口　信和
Iguchi　Nobukazu
近畿大学理工学部教授。三重大学大学院修士課程修了（農業機械学専攻），大阪大学大学院博士後期課程修了（基礎工学研究科情報数理系専攻）。博士（工学）。（株）豊田自動織機製作所，和歌山県工業技術センター研究員を経て現在に至る。これまでに遠隔技術診断，動画像通信，グループウェアの研究に従事。現在，仮想化技術の教育システムへの応用，農業 ICT，P2P，メディア処理の研究 に興味を持つ。情報処理学会，電子情報通信学会，農業情報学会，教育システム情報学会，IEEE 各会員。

越智　洋司
Ochi　Youji
近畿大学理工学部講師．徳島大学大学院博士後期課程修了。博士（工学）。 教育情報システムの研究に従事し, 語学学習支援, 情報検索・映像処理技術の応用に関心をもつ。教育システム情報学会評議員。日本教育工学会，情報処理学会，電子情報通信学会，人工知能学会，言語処理学会各会員。

溝渕　昭二
Mizobuchi　Shoji
経歴は NAIS journal 24P に掲載。

向井　苑生
Mukai　Sonoyo
経歴はアキューム 71P に掲載。