

### 3 次元立体映像を用いた聴覚障害者のための教育支援システムの研究開発

筑波技術大学産業技術学部産業情報学科

若月大輔 加藤伸子 皆川洋喜 西岡知之 村上裕史 内藤一郎 田中哲男

**要旨：**聴覚障害学生のための3次元立体映像を用いた教育支援システムを提案する。現在、本学の聴覚障害者に対する実物の教育対象物を用いた授業では、その対象物を指し示し、手話や板書、プレゼンテーションツール等でその説明を行っている。しかし、対象物と解説の対応関係がうまく対応付けられない場合に学生の理解を妨げる可能性がある。そこで、3次元映像を用いて対象物を直接指し示したり、対応する解説を直接書き込んだりすることが同時に行える教育支援システムを構築する。本報告では、主にシステムの提案、および教育対象の立体映像をリアルタイムに撮影・提示する部分の試作、検討を行った。試作したシステムを用いて本学の聴覚障害学生に対して実験を行った結果、教育対象に対する3次元的な構造把握が必要な授業への適用に有効であることが示唆された。

**キーワード：**聴覚障害支援、情報保障、3D 立体映像、教育支援システム

#### 1. はじめに

聴覚障害者にとって、視覚的に見(観)ることは必要な情報を獲得するための重要な手段の1つである。筆者らは聴覚障害学生の教育に携わっており、質の高い教育を提供するには視覚的な情報保障が非常に重要であることを実感している。これまで、映像情報を用いた情報保障の取り組みとして、講義、学会などの場面において手話通訳、字幕および要約筆記を遠隔で提供する遠隔情報保障システムの提案を行ってきた[1][2][3][4]。本研究では、情報保障提示の1方法として、聴覚障害学生が獲得できる視覚的な情報を増やすために、3次元立体映像を用いた教育支援システムの研究開発を行う。

本学の聴覚障害学生に対する授業では主に板書、およびプレゼンテーションツール等の視覚的に情報を伝えることができる方法が用いられている。また、プラズマディスプレイとタッチパネルを組み合わせ、重要部分をマーキングしたり、追加の解説を書き込んだりできる装置も導入されている。これらは平面的に教材や解説を視覚的に提示する方法である。さらに3次元的な奥行き情報を提示できれば、より質の高い効果的な教育を展開できる可能性がある。演習や実習のなかで学生に対して実際の教材(機械や模型等)を見せる場合、教材を指し示したり、解説を手話で表現したりを同時に行うことができない。しかし、立体映像として教材をリアルタイム表示し、同時にその解説を書き込むことができれば効率良く授業を進めることができると考えられる。

そこで本研究では、教育対象の実物体や仮想物体を立体映像として聴覚障害学生に提示し、教員が直接に立体映像

を指し示したり、解説を挿入することができる教育支援システムを構築するための研究開発を進めている。学生に教育対象物の立体映像を提示する部分について、実装状況、特徴ならびに有効性について基礎的な検討を行った結果について報告する。

#### 2. システムの概要と構成

##### 2.1 概要

現在研究開発を進めているシステムの概要を図1に示す。まず、教育対象物のステレオ映像をリアルタイムに撮影し、コンピュータで立体映像を生成する。対象物がCAD等の仮想的なデータの場合も同様に立体映像を生成する。次に、生成された立体映像を大型立体映像提示装置で表示する。教員がその立体映像に対して直接に指し示したり、解説を書き込んだりすることができる。複数の学生に対して教育対象物とその解説を立体映像として観察することができるシステムの構築を目指す。

教育対象物に対して直接的な指示や書き込みが可能となるため、聴覚障害学生にとって対象物と解説が対応したより理解しやすい授業を展開できるようになる。これは授業時間の短縮にも貢献でき、より高度かつ内容の充実した効率の良い授業が可能となると考えられる。また、一般的な立体映像を教材として用いる場合では、3Dモデルをあらかじめ作成する必要があった。しかし、実物の教材を直接撮影して立体映像として用いるため、より簡易に立体的な教材提示が可能となる。

3次元的なCGを読み込んで、解説を3次元的に書き込むことができるため、従来の板書やプレゼンテーション

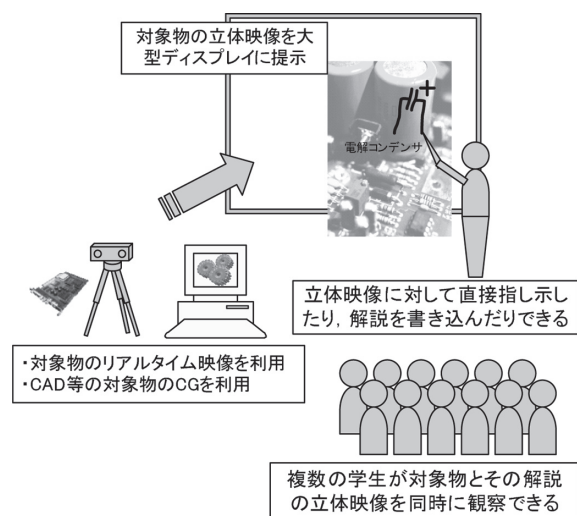


図1 本システムの概要

ツールだけでは難しい3次元的な概念を学ぶ上で高い教育効果が期待できる。また、工学や医学、アミューズメントなどのさまざまな分野で活用されている3次元画像処理技術の基礎教材として活用できる。例えば、本学産業技術学部産業情報学科の「マルチメディア演習」、「画像工学演習」、「ヒューマンインターフェース論」などの授業で活用する。

## 2.2 システム構成

本システムの構成を図2に示す。実際の教育対象物の立体映像を撮影、提示する装置（立体映像撮影・提示装置）と、その立体映像の説明したい部分を指し示したり、その説明を書き込むことができる装置（立体映像指示・説明入力装置）に分ける。

立体映像撮影・提示装置はステレオカメラ、ステレオプロジェクタ、立体映像用スクリーン、画像処理用計算機で構成される。カメラからリアルタイムに得られる対象物のステレオ映像に対して計算機で画像処理を行い、立体映像として提示する。立体映像指示・説明入力装置は3次元位置姿勢計測装置、ペンデバイス、画像処理用計算機で構成

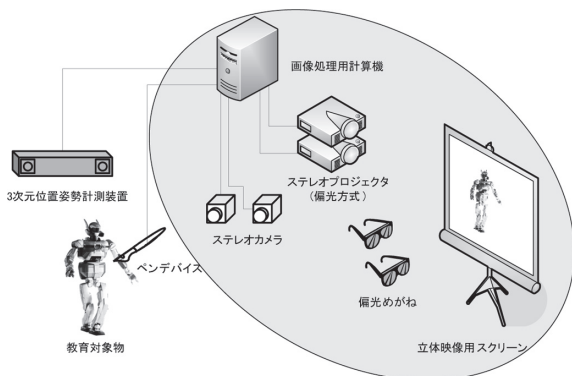


図2 システム構成

される。3次元位置姿勢を用いて教育対象物、ペンデバイス、およびステレオカメラの位置姿勢を計測する。ペンデバイスの位置姿勢からコンピュータグラフィックスを用いて立体映像を指し示したり、説明を書き込んだりする。対象物の位置姿勢に合わせて書き込みを行うことで、対象物およびステレオカメラを動かした場合でも図3のように説明を追従させることが可能となる。

本報告では、実際に試作した立体映像撮影・提示装置（図2の楕円で囲まれた部分）について、仕様や実装方法について述べる。

## 2.3 立体映像撮影・提示装置

高解像度なステレオ映像をリアルタイムに計算機に取り込むために、転送速度が高速であるIEEE1394接続の2眼デジタルステレオビジョンシステム（PointGrayResearch社Bumblebee）を用いて教育対象物のステレオ映像を撮影する。同システムでは左右カメラの映像を解像度:XGA(1024×768)、フレームレート15fpsで計算機に取り込むことが

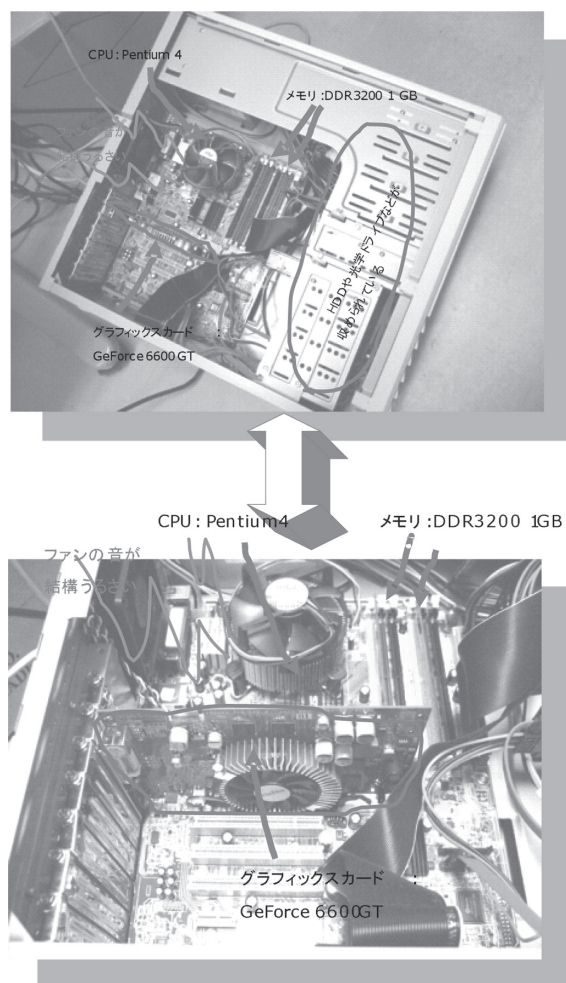


図3 ステレオカメラの移動に伴う指示や説明の追従（イメージ）

可能である。また、カメラの内部・外部パラメータのキャリブレーションデータを持つため、画像のゆがみや左右のカメラの相対的な位置は容易に補正することが可能である。

リアルタイムに立体映像を提示する主な方法として次の3方式ある。

- ・ 液晶シャッターを用いた時分割方式
- ・ レンチキュラレンズやパララックスバリアを用いた裸眼立体視方式
- ・ 光の偏光を用いた偏光方式

時分割方式は右目と左目の映像を交互に切り替えて高速に表示し、その表示更新速度に対応して液晶シャッターを切り替えて左右映像を分割する方式である。しかし、高いリフレッシュレートをもつディスプレイ装置や液晶シャッターメガネが必要であり実装にかかるコストが高く多人数向けではない。裸眼立体視方式はディスプレイの前面にレンズやバリアを取り付けて右目と左目に見える映像を分割する方式である。一般に液晶ディスプレイやプラズマディスプレイが用いられ大型化が難しく、立体映像を観察できる位置も制限されるため多人数で同時に立体映像を観察できない問題点がある。一方、偏光方式は偏光フィルタを用いて右目と左目に提示する映像を分割する方式である。2台の互いに偏光方向が異なる偏光フィルタを取り付けたDLP方式プロジェクタと、偏光を保存するスクリーン、および偏光メガネのみで安価に構成可能である。また、多人数で同時に立体映像を観察するのに適しているため、本研究では偏光方式を採用した。3Dファクトリー社のステレオプロジェクタ（解像度：XGA、輝度：2000ANSIルーメン）、ならびにシルバースクリーン（120インチ）を用いてシステムを試作した。

実際に試作した立体映像撮影・提示装置を図4に示す。

### 3. 立体映像の生成

#### 3.1 立体映像撮影から提示までの流れ

ステレオカメラから得られた映像は、レンズの歪みや左右カメラの配置による誤差を含む。このため、そのまま立体映像として利用すると、正しい立体映像が得られない可能性がある。そこで、次に示す手順で立体映像を提示する。

- ステレオカメラから教育対象物のステレオ映像の取り込み
- ステレオ映像に対してカメラの外部・内部パラメータを補正する画像処理
- 補正されたステレオ映像から教育対象物の部分的な拡大・縮小処理

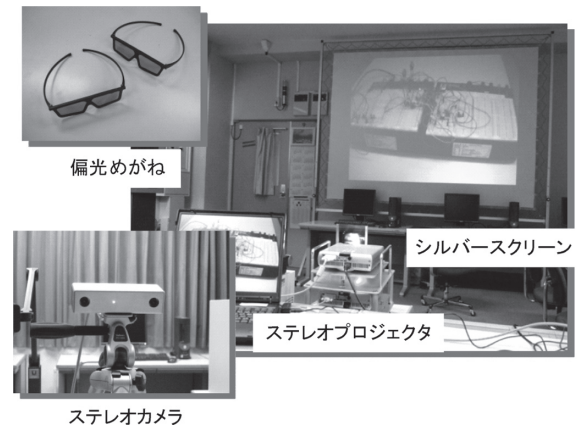


図4 試作した立体映像撮影・提示装置

- iv. 画像処理された映像をステレオプロジェクタで立体映像として表示

手続iiの画像補正処理については第3.2節、手続iiiの拡大・縮小処理については第3.3節で述べる。

#### 3.2 映像の補正

採用したステレオカメラBumblebeeは、カメラキャリブレーションパラメータがあらかじめ計測済みのモデルである。そのパラメータを用いて映像の歪み補正を行う。より正確な補正を行うためには1画素ずつ補正する必要がある。処理コストが大きくリアルタイム性を損なう可能性がある。本システムでは対象を指し示す、説明を書き込むといった対話的な処理が必要であるため、テクスチャマッピングを用いて高速に映像を補正する。

メッシュ状に分割された4角形ポリゴンメッシュを生成し、そのポリゴンに映像をテクスチャとしてマッピングする。この際、メッシュの頂点を歪みに合わせて補正する。テクスチャマッピングでは頂点間のポリゴン表面上のテクスチャは自動的に補間されて表示される。この補間処理はグラフィックスハードウェア上で行われるため、非常に高速な補正、および表示が可能である。また、左右カメラの相対的な位置姿勢に応じて、視点に対するポリゴンメッシュの位置姿勢を決定する。

一般的なAT互換機（CPU：Pentium4 3GHz、Memory：1GB、Graphics：GeForce6600GT）上で、OpenGLを用いて64×48の細かさのポリゴンメッシュで実装した結果、ステレオカメラのフレームレートと同じ15fps程度のフレームレートで歪みのない立体映像の提示が可能であった。また、より正確な補正が必要な場合はメッシュの分割を細かくすることで対応可能である。

#### 3.3 立体映像の拡大・縮小処理

教育対象物のある部分のみに注目して説明したい場合、

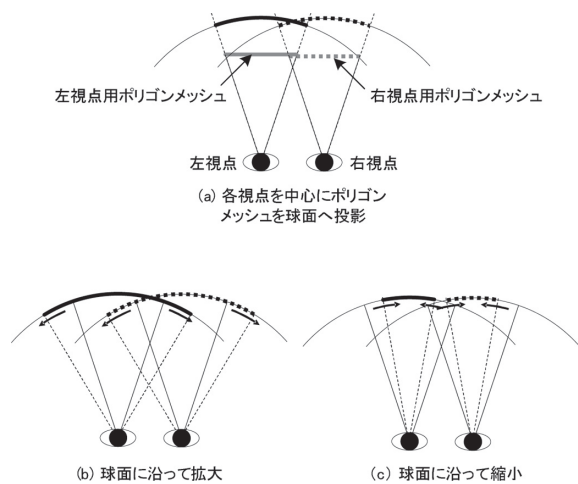


図5 立体映像の拡大・縮小

対象物の一部または全部を自由に選択して表示できる必要がある。前節で述べたポリゴンメッシュをそのままスケールリングする方法が考えられる。しかし、映像の中心と周辺で画角あたりのスケールが変わってしまうため正しい拡大・縮小結果が得られない。そこで、図5 (a) に示すように、映像がマッピングされたポリゴンメッシュを視点を中心にした球面へ投影する。

映像を拡大する場合は、図5 (b) に示すように投影されたポリゴンメッシュを球面に沿って拡大する。逆に、縮小する場合は図5 (c) に示すようにポリゴンメッシュを球面に沿って縮小する。これによって画角あたりのスケールが映像全体で一定となるため自然な拡大・縮小を実現することができる。また同時に各視点を中心にしてポリゴンメッシュ全体を任意方向へ回転させることで、映像の任意の場所を拡大・縮小しながら表示することが可能になる。なお、拡大処理についてはデジタルズームと似た効果が発生する。しかし、採用したステレオカメラ Bumblebee は高解像度 (XGA) での撮影が可能であるため、十分な解像度で立体映像を表示できる。

## 4. 実験・結果

### 4.1 実験方法と条件

本システムの立体映像撮影・提示装置の特徴を調査、検討を行うために、本学産業情技術学部、校舎棟 508 教室に試作したシステムを設置して実験を行った。被験者は聴覚障害学生 3 名、および本学教員 1 名の計 4 名である。ステレオカメラで複雑に組み上げた積み木を提示し、3次元の立体映像表示と 2次元の平面映像表示を切り替えて被験者に提示した。

平面映像表示に対する本システムで提示された立体映像

表示についてアンケート調査を行った。次にアンケートの内容を示す。

1. 立体的に見えますか？
2. 奥行きを感じますか？
3. 前後関係は把握できますか？
4. 物体の 3 次元的な構造がわかりやすいですか？
5. 立体映像用メガネを着用することに抵抗を感じますか？
6. 教員が立体映像用メガネを着用して授業をすることに抵抗を感じますか？
7. 疲労を感じますか？
8. このシステムに興味を持ちましたか？

各質問について、5段階で評価した。評価3を「普通」として、評価1を「まったく〇〇ない」、評価5を「かなり〇〇である」とした。例えば、質問1の場合、評価1が「まったく立体的にみえない」、評価5を「かなり立体的に見える」とした。

また、以下の3つの質問について被験者に記述してもらった。

- a. このシステムはどんな授業に役立ちそうですか？
- b. 授業以外ではどんなことに利用できそうですか？
- c. 自由記述

### 4.2 集計結果

アンケート調査を行った結果を図6に示す。図中の棒グラフが各項目の評価値の平均、エラーバーがその標準偏差を表す。質問1～4、8は値が高いほうが良い評価、質問5～7は値が低いほうが良い評価が得られたことを表す。また、a～cの質問についての回答を以下に示す。

- a. このシステムはどんな授業に役立ちそうですか？
  - (a-1) 実物の電子機器の説明があるマイクロコンピュータ概論や電子工学概論などの授業
  - (a-2) 数学の3次元構造の理解、化学の分子構造の理解
  - (a-3) 建物の構造把握が必要な建築関係の授業
  - (a-4) 3次元 CAD や 3次元 CG
  - (a-5) 昔の写真などを表示して歴史学の授業
- b. 授業以外ではどんなことに利用できそうですか？
  - (b-1) 学園祭等の映画公開
  - (b-2) ゲームセンター等のアミューズメント
  - (b-3) VR チョーク投げ (仮想的にチョークを投げで注意喚起)
  - (b-4) 手話、指文字の表示や学習
- c. 自由記述
  - (c-1) 机の角が直角に見えない
  - (c-2) 講義中ずっとメガネをしているのはつらい

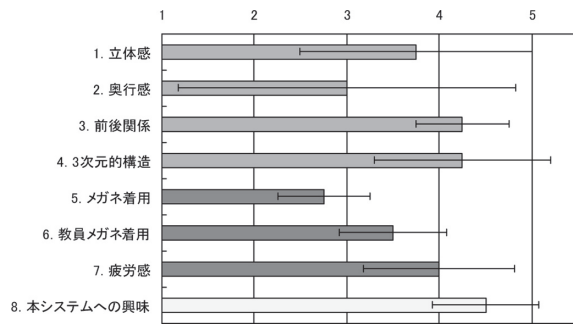


図6 アンケート調査結果

(c-3) 画質が低い、動きがスムーズでない

(c-4) 手話が2Dよりも3Dのほうが立体的でわかりやすかった

#### 4.3 考察

質問1の立体感や質問2の奥行感に関する質問については平均値は普通程度である。しかし、標準偏差が大きく個人差が大きいがわかる。本システムを含めた一般的な立体映像提示装置では視差により立体感を提示する。これらの提示装置では眼球の輻輳は再現されるが、焦点が常にスクリーン上に合うため、視覚的に不自然な状態が起こる。また、多人数での同一スクリーンの立体映像を観察するため、観察者の視点位置は立体映像を生成時の視点位置と正確に一致しない。質問cの自由記述でも回答(c-1)のように幾何的な形状が正確に伝わらないことが指摘されている。これらの理由から立体感や奥行感に対する個人差が大きくなると考えられる。

本報告では、撮影時の左右カメラの画角や光軸方向にあわせて立体映像を生成したが、実際には焦点や観察位置の問題がある。より多くの観察者が適切な立体感および奥行間が得られるように立体映像生成時のパラメータを調整する必要がある。

質問3の前後関係と質問4の3次元的な構造把握については4以上の高い評価が得られている。奥行感は正確に得られていないものの、対象物の積み木の構造や前後関係は認識できていたと思われる。また、質問aの役立ちそうな授業についても、回答(a-1)～(a-4)のように3次元的な構造を把握する必要がある様々な分野の授業が挙げられ、立体的な教材提示に関する期待が高いことがわかる。

質問5の学生自身がメガネ着用することに対する抵抗感については、抵抗が少ない傾向の結果が得られた。しかし、質問cの自由記述の回答(c-2)では長時間のメガネを着用へ抵抗があるという指摘もあった。質問6の教員がメガネを着用することに対する抵抗感、逆に抵抗がある傾向の結果が得られた。これはメガネ着用によって教員の

視線や表情が読みづらくなることが原因であると考えられる。また、質問7の疲労感については疲労が強いことがわかる。質問cの回答(c-3)の画質やフレームレートの問題、先に述べた輻輳と焦点が対応しないことや、立体映像生成時の視点との不一致が原因であると考えられる。より疲労が少ない立体映像のパラメータ調整や、長時間の使用を避ける本システムの活用方法を検討する必要がある。

質問8の本システムへの興味に関する質問については非常に高い評価が得られた。質問aの回答(a-5)、および質問bの授業以外への応用に対する回答(b-1)～(b-3)といった様々な独創的な回答があった。様々な活用法の提案があり、本システムに対して高い関心を持つことがわかった。

実験終了後にステレオカメラで被験者を撮影し、被験者間でコミュニケーションを試みたところ、質問bの回答(b-4)、質問cの回答(c-4)のような回答があった。手話や指文字についても平面表示よりも立体表示の方がわかりやすいことが示唆された。本システムは手話学習や情報保障システムへの応用も期待できる。

#### 5. まとめ

聴覚障害学生に対する講義や演習の効率的な授業を支援するために、教育対象の実物体や仮想物体を立体映像として提示し、直接指し示したり、解説を書き込んだりすることができる教育支援システムの構築に関する基礎的な検討を行った。

本報告では、学生に対して教育対象物の立体映像を提示する立体映像撮影・提示装置を試作し、ステレオカメラで撮影した映像の歪み補正方法、および歪みのない立体映像の拡大・縮小方法について述べた。

試作した立体映像撮影・提示装置で提示される立体映像について調査、検討を行った。その結果、立体感や奥行感に課題が残るが、対象の前後関係の把握が容易であり、3次元的な構造把握が必要な講義等への応用に有効であることが示唆された。一方で、立体映像観察への疲労感が高く、システムの最適な利用方法の検討、および改善が必要であることが明らかになった。

今後の課題は、立体感、奥行感、および立体視にともなう疲労感を改善するための、立体映像生成時の最適なパラメータの検討である。また、現在、立体映像指示・説明入力装置部分の検討、試作を進めており、本システムの運用へ向けて全体的な調整を行っていく予定である。

### 謝 辞

本研究は、平成 17 年度教育研究等高度化推進事業 B 教育研究等改革・改善事業（「3次元立体映像による視覚的情報保障が可能な教育支援システムの研究開発」，代表者：田中哲男）の助成を受けて行いました。ここに記して感謝申し上げます。

### 参考文献

- [1] 内藤，加藤，村上，皆川，石原：講義場面での遠隔地手話通訳システムにおける視覚情報に関する評価。ヒューマンインタフェース学会論文誌，5（4）：79-86，2003.
- [2] 加藤，河野，内藤，村上，皆川，三好，石原：会話場面での遠隔手話通訳システムにおける視覚情報に関する評価。ヒューマンインタフェース学会論文誌，7（3）：59-68，2005.
- [3] 西岡，三好，河野，加藤，村上，内藤，皆川，白澤，石原，小林：遠隔地リアルタイム字幕提示システムにおける字幕作成者に対するキーワード提示について。WIT，2005（88）：81-86，2006.
- [4] 加藤，河野，西岡，三好，村上，皆川，若月，白澤，内藤：遠隔情報保障におけるキーワード提示の検討。WIT，2006(12)35-40，2006.

## **A Study on Teaching Support System Applying 3-D Vision for the Hearing Impaired**

Daisuke WAKATSUKI, Nobuko KATO, Hiroki MINAGAWA, Tomoyuki NISHIOKA,  
Hiroshi MURAKAMI, Ichiro NAITO and Akio TANAKA

Department of Industrial Information, Faculty of Industrial Technology,  
Tsukuba University of Technology

**Abstract:** We describe a teaching support system applying 3-D vision for the hearing impaired. When students of hearing impaired in our university are taught about a real teaching material, visual approach such as sign language, blackboard and presentation tool in corresponding to the teaching material is applied. We propose a system that is able to indicate directly the 3-D image of the teaching material and write comments about the indicated part. The development and the basic study of a trial system taking and displaying a 3-D image of real teaching material are described. The effectiveness and the problem according to applying 3-D image in class were suggested in an experiment that utilize our trial system.

**Keywords:** Hearing Impaired, Communication Support, 3-D Image, Teaching Support

