

〔論 文〕

双方向遠隔授業におけるポスター効果軽減の研究

——2チャンネル映像システムの遠隔授業への導入について——

田 上 博 司

要 旨

単なる平面スクリーンではなく、視聴者によって異なる複数の映像を1枚のスクリーン上に提供できる多チャンネルスクリーンを遠隔授業に導入すれば、これまで解決できなかった、講師の発信する視線方向などを含む視覚的情報の伝達を、より正確に実現できるようになると考えられる。本稿では現在実用段階にある3D映像の投影システムを、2チャンネルスクリーンとして用いることによってその効果を検証し、さらに遠隔授業に最も適したシステムの方式を探る。

I はじめに

双方向のTV会議システムによる遠隔授業における視線一致の効果については、それが教育効果を上げる大きな要因であることが指摘されてきた¹⁾。また、最近ではその学習者特性に応じた教育効果の差異までも明らかに becoming²⁾。

一方、筆者は先の研究³⁾において、平面スクリーンを用いた視線一致型の遠隔授業システムでは、いわゆる「ポスター効果」によって、コミュニケーション・トリガとしての視線の機能が実現できず、ゆえに完全な視線一致効果が得られないことを指摘した。先の研究ではこの問題点の解決を講師視野の開示という方法で試みたが、またその最後に、ポスター効果を解消してより対面授業に近い状態を遠隔授業に作り出すには、立体映像を使用した映像交換システムの遠隔授業への応用を考えると述べた。

しかしながら、現在一般に3D映像と呼ばれ

ている映像表示システムでは、実はこのポスター効果を解消することができない。ポスター効果による視線方向不一致は、視聴者全員が位置的視差の無い同一の平面映像を見ることによって生じる。したがって視聴者全員が同時に2枚の同一平面映像を見る現在の3D映像システムでは原理的にポスター効果は解消しえないことになる。これを完全に解消するには、両眼視差と輻輳角を利用した3D映像システムではなく、立体を立体映像として空間投影し、視聴者それぞれに位置的視差を持った映像を提供するシステムが必要になる。現時点でこのような装置は、体積型ディスプレイと呼ばれるプロトタイプ的なものやホログラフィの応用などが考えられているものの⁴⁾、まだ実用段階にはなく、TV会議のようなリアルタイムの映像交換となると、その装置規模の点からも現実的ではない。

では、現在の3D映像システムの提供する両眼視差を位置的視差として提供し、ポスター効果を軽減することはできないだろうか。本稿ではこのような観点から、現在利用されている3D映像システムを見直して、これを遠隔授業におけるポスター効果の解消に利用する方途を考察する。

以下、第2節においては、現在一般に用いられている3D映像システムの現状、及びその成り立ちから諸方式の内包する問題点を明らかにするとともに、その原理を利用して位置的視差の提示装置として使用する方法を述べ、第3節では実験環境を作ってその効果を検証する。続く第4節においては、第3節の実験結果に基づいて、現在使われている数種の3D映像システムから、遠隔授業用の2チャンネルスクリーンとして最も適した方式を探る。

Ⅱ 立体視スクリーンシステムと 2 チャンネル映像システム

1. 立体視スクリーンシステム

映画やTVにおいて、いわゆる3D 効果—正確には立体視効果というべきであろう—を提供する3D 投影システムや3D ディスプレイシステムが俄かに脚光を浴びている。これは左眼・右眼に、本来それぞれの眼が見ているような視差のある、異なった映像を見せることにより、画面から物体が飛び出しているかのような錯視を起こさせ、結果として臨場感の高い映像環境を提供しようとするものである。この映像システムは、これまで平面的であった映像世界をまったく次元の異なる高臨場感の世界に変えるものとして、その経済効果とともに注目されている。

またこのシステムはエンターテインメントの分野にとどまらず、現在では、デジタルサイネージをはじめ、医療や軍事分野などへの積極的かつ実用的な応用実験が行なわれている。

なお、3D-CG と同じ3D という呼称が用いられるので混同されがちであるが、いうまでもなく3D-CG はコンピュータ内部に縦・横・高さや表面材質などのデータを持った仮想物体をモデリングし、その2次元投影を求める技法であり、基本的にまったく別種の技術である。その意味で、本稿においてはこれ以降、これら立体視効果を生むスクリーンシステムを一般的な名称である3D スクリーンとは呼ばず、立体視スクリーンと呼ぶこととする。

2. 立体視スクリーンの原理とその応用の可能性

両眼の視差と輻輳角を利用した立体視の原理は古くから知られていたようであるが、一般にはホイートストン・ブリッジの実用化で知られるイギリスの物理学者 Charles Wheatstone によって1838年に発表されたステレオスコープが、この原理を用いた初めての立体視装置とされている。よく知られている赤青眼鏡を用いたアナグリフ式の立体視は、1853年にドイツの Wilhelm Rollman によって考案され、1858年に D'Almeida によって発表されたもので、1930年

代にはこれを利用した立体視映画が実際に上映され、その後この方式の立体視テレビ番組も放映されている⁵⁾。

アナグリフは、赤と青の色のついたガラスをそれぞれ左右の眼に当て、赤と青で二重に投影された左右それぞれの眼用の画像を見るもので、現在でも簡易立体視の装置としてよく利用されている。その後1939年のニューヨーク万博では、赤青眼鏡ではなく、現在の3D 映画とほぼ同じ原理の偏光レンズを使った立体視映画が上映されている⁶⁾。

両眼の視差と輻輳角を用いた立体視はこのように長い歴史を持つが、しかし一般にはなかなか普及しなかった。その原因についてはさまざま考えられるが、アナグリフにおける赤青画像のみづらさや、左右画像間のクロストークなどによる画質と眼精疲労の問題⁷⁾、さらに眼鏡使用のわずらわしさなどが大きいと考えられる。

その立体視が今になって再び脚光を浴びているのは、デジタル映像技術の進展による映像再生の正確化や映像の高画質化に加え、画質劣化の少ない視差画像の分離方式が実用化されたこと、さらには眼鏡を用いない裸眼式立体視の技術が開発されたことなど、高画質の立体映像をストレスなく視聴できる環境が整ってきたためと考えられる。

いずれにせよ、これらの立体視スクリーンは左眼・右眼の視差を持つ2種類の映像を撮影し、これを何らかの形で時間・空間的に同期させて同時投影し、さらにそれを左眼用・右眼用に分離して知覚させることによって立体効果を生むという点で同じ原理に基づくものである。

いいかえれば、これらのシステムはすべて、2つの画像を同期させて同一スクリーン上に混合投影し、それをまた2つに分離して知覚させるという2チャンネルスクリーンの機能を内包しているわけである。ということは、これを用いて左右の視差画像ではない異なる2種類の画像を、それぞれ異なる人間に同時に知覚させることが可能になると考えることができる。アナグリフ式を例にとれば、左右が赤青の眼鏡ではなく、両眼が赤および両眼が青の眼鏡を用意すれば、それらを着用した視聴者には赤または青のどちらか片方の映像だけが見えることにな

る。

1 対多の遠隔講義におけるポスター効果の問題は、位置的視差（動体視差）の無い講師映像を全員が見ることによって起きる。したがってこの問題は、少なくとも1対2であれば、このシステムを利用して原理的には解決できるといえる。さらに、1対多の場合でも1対左右2群という考え方で用いれば、完全なポスター効果の解消は不可能であっても、全員が同一平面画像を見る従来のシステムに比べて、それを軽減する一すなわち、講師の視線方向をより直感的に理解させることが可能になるとも考えられよう。

次節では左右に配置した受講者それぞれに、左右の位置的視差を持つ講師映像を提供することによって、実際に遠隔講義におけるポスター効果を軽減することが可能であるかを検証する。本稿ではこれを、現在すでに実用化されている偏光式の立体視スクリーンを、1枚のスクリーン上に2種類の異なる映像を投射する2チャンネルスクリーンとして用いることにより実現する。

Ⅲ 2チャンネル映像システムによるポスター効果軽減の検証

1. 実験の趣旨と目的

遠隔授業に2チャンネル映像システムを導入することによって、実際にポスター効果が軽減され得るのか、また偏光スクリーンおよび偏光眼鏡を使用することによって、受講者にどのような影響が出るのかを検証するため実証実験を行う。

今回の実験はこの2点のみの検証を目的とする。本来、効果的な視線一致を行い、詳細な伝達情報の分析を行うためには、2チャンネル映像をサポートするVEMなど本格的な視線一致型映像交換装置を開発すべきであるが、半透過スクリーンにおける偏光の反射率確保やそれに伴う光量低下、さらには開発コストなど未解決の問題点が多く存在し現時点では実現できなかった。したがって今回はVEMを使用せず、受講者側では、偏光反射の可能なシルバースクリーンの後方にカメラを置き、スクリーン上講師

の目の位置あたりに設けた小さな穴（撮影窓）を通して受講者映像を取得する。また講師側ではディスプレイ前方にカメラを設置して簡易型の視線一致を行う。

検証は受講者に対する質問形式で行う。質問項目は次のとおりとし、それぞれ5段階で評価する。

- ① 講師がどこを見ているかが自然に理解でき、違和感を覚えなかったか。
- ② 講師が眼で合図を送ったとき、それが左群・右群どちらに対して出した合図か理解できたか。
- ③ 目の疲れ方はどの程度だったか。（もし耐えられなくなったらその時点で受講を中止し、講義開始からの経過時間を記録するようあらかじめ指示。）
- ④ 眠気の出方はどうだったか。（眠気を感じた時点の、講義開始からの経過時間を記録するようあらかじめ指示。）

なお、本実験ではプロジェクタと視聴用眼鏡に偏光を利用した2チャンネル映像システムを用いるが、現在実用化されている立体視システムはその他にもいくつかのタイプが存在する。これらについては後の節において、主だったものをピックアップするとともに、遠隔授業への応用の適性を検討してみたい。

2. 実験環境

講師のいるスタジオエリアから、受講エリアに対して2チャンネル映像で講義を配信する。受講生4名の少人数授業とし、受講エリアに左右2名ずつ2群に分けて着席させるものとする。システム構成は次の図1のとおりである。

講師はスタジオエリアにて講義を行い、これを同型のマイク付WEBカメラ2台で講師用ディスプレイの前方、左右それぞれ講師の顔に対し斜め15度の位置より撮影する。この角度は、受講エリアのスクリーンに設けた撮影窓を通るカメラ光軸と、左右それぞれの学生2名の中心

を結ぶ線分との角度に等しい。これによって視線一致が可能になる。

スタジオエリアにて撮影された左右それぞれの映像情報は、USB 経由で 2 台の講師映像用 Windows PC に送る。音声情報は 1 チャンネルのモノラルとし、今回は右映像用 WEB カメラのマイクのみを使用する。講師映像用 PC から受講エリアへは、同一室内での実験となるためネットワークではなく PC の RGB 出力ケーブルを延長して配信する。

受講エリアには、偏光投影用のシルバースクリーンを設置し、これに対し講師映像用の 2 台

の Windows PC に接続されたプロジェクタから、左サイドの映像には垂直の吸収軸を持つ偏光フィルタ、右サイドの映像には水平の吸収軸を持つ偏光フィルタをかけて同時に投射する。

左群の受講生は、両眼に垂直の吸収軸を持つ偏光フィルムを張った眼鏡を、右群の受講生は両眼に水平の吸収軸を持つ偏光フィルムを張った眼鏡を、それぞれ着用する。

受講生の映像は、前述のとおりスクリーン背面に装着した WEB カメラで、スクリーン上に設けた撮影窓を通して撮影したものを、USB 経由でスタジオエリアの受講生映像用

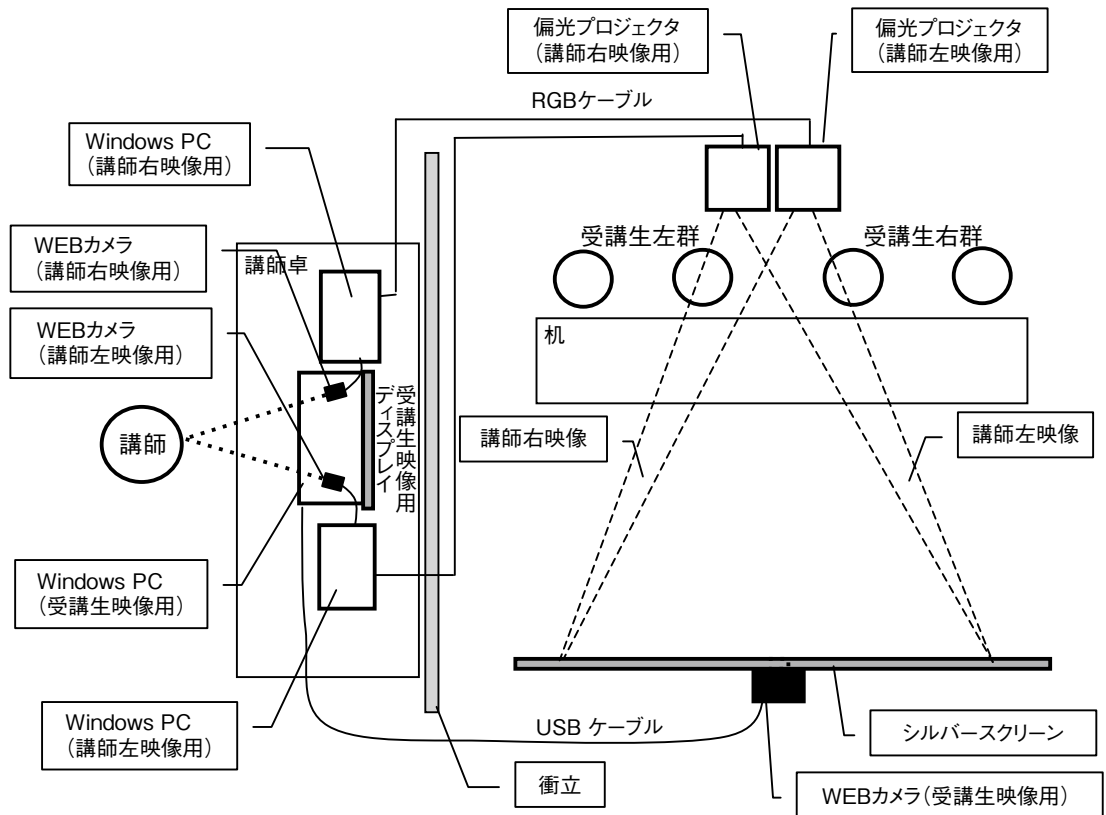


図 1 システムの構成



図2 シルバースクリーン（左）と偏光フィルタを取り付けたプロジェクタ（中央）及び受講生用偏光眼鏡（右）

Windows PC に送る。

3. 実験の推移と結果

2011年6月23日阪南大学8803研究室において、上記システムを用いて5分間の説明を兼ねた予備実験を行い、体調の悪化や視覚異常がないことを確認したのち、16時50分より実験講義を行なった。講義内容はマルチメディア論補講、講義時間60分である。開始時の受講生の健康状態は概ね良好であり、途中退出者はなくほぼ計画通り17時50分に実験講義を終了した。

終了後受講者4名に対しⅢ-1で挙げた質問を行なう。結果は次のとおりである。

① 講師がどこを見ているか自然に理解できたか。

- | | |
|----------------|-------|
| 5. 理解できた | — 2 名 |
| 4. だいたい理解できた | — 2 名 |
| 3. どちらともいえない | — 0 名 |
| 2. あまり理解できなかった | — 0 名 |
| 1. 全く理解できなかった | — 0 名 |

② 映像に違和感を覚えなかったか。

- | | |
|------------------|-------|
| 5. 違和感はなかった | — 1 名 |
| 4. あまり違和感を覚えなかった | — 2 名 |
| 3. どちらともいえない | — 1 名 |
| 2. 少し違和感があった | — 0 名 |
| 1. かなり違和感があった | — 0 名 |

③ 講師が眼で合図を送った時、それが左右どちらに対して出した合図か理解できたか。

- | | |
|----------|-------|
| 5. 理解できた | — 3 名 |
|----------|-------|

- | | |
|----------------|-------|
| 4. だいたい理解できた | — 1 名 |
| 3. どちらともいえない | — 0 名 |
| 2. あまり理解できなかった | — 0 名 |
| 1. 全く理解できなかった | — 0 名 |

④ 眼の疲れ方はどの程度だったか。

- | | |
|----------------|-------|
| 5. 非常に眼が疲れた | — 3 名 |
| 4. かなり眼の疲れを感じた | — 1 名 |
| 3. 少し眼に負担を感じた | — 0 名 |
| 2. 眼はあまり疲れなかった | — 0 名 |
| 1. 眼は全く疲れなかった | — 0 名 |

(退出者はなし)

⑤ 眠気の出方はどうだったか。

- | | |
|---------------------|-------|
| 開始後10分以内に著しい眠気を感じた | — 1 名 |
| 開始後10～20分に著しい眠気を感じた | — 1 名 |
| 開始後20～30分に著しい眠気を感じた | — 2 名 |
| 開始後30～40分に著しい眠気を感じた | — 0 名 |
| 開始後40～50分に著しい眠気を感じた | — 0 名 |
| 開始後50～60分に著しい眠気を感じた | — 0 名 |
| 眠気は感じなかった | — 0 名 |

被験者の母数が少ないので、このアンケートから統計的結論を得ることはできないが、本実験環境、あるいは類似の環境において遠隔授業を行った場合、概ね次のような推測が可能であ

ろう。

- (1) 問1の回答から、講師の視線方向はこのシステムである程度伝達が可能であることが分かる。
- (2) 問2、問3の回答から、2チャンネル映像での配信は、映像に若干の違和感があるもののポスター効果の軽減に対して有効であることが分かる。
- (3) 問4では4人中3人の被験者が、眼が非常に疲れたと答えている。また、ここには表れていないが、退出するほどではないにせよ、少し目が痛かったと訴える被験者もいた。本実験の前に行った短時間の予備実験ではこれほどまでの結果は予期されなかったが、これらの結果から、このシステムでは眼への負担がかなり大きいと推測される。目の疲れや痛みの原因として次の3点が考えられる。

① スクリーン輝度の問題

本実験に用いたプロジェクタ NEC NP115J はカタログ値で2500ANSI ルーメンの光量を持っており、通常の遠隔講義用としては十分なのだが、投射用レンズに装着した偏光フィルタと被験者の装着した偏光眼鏡により、実際に目に入る光量は約1/4程度になっていると推測される。

② クロストークの問題

本システムでは片側の映像を偏光フィルタで遮蔽するが、偏光フィルタの特性上、完全に遮蔽できるわけではなく、ごく僅かながら常にもう一方の映像が重なって見えている。これが眼の疲れを引き起こす一因になっていることが推測される。

③ スクリーンの乱反射の問題

本システムでは偏光効果を出すために、通常の白色スクリーンにメタリックペイントを施した自作のシルバースクリーンを使用した。スクリーンの塗装には万全を期し

たが、設備の整った工場での作業ではないため、若干の塗りむらが出ていた可能性がある。これが乱反射を引き起こし、眼の疲れをさらに増幅させる結果になった可能性は否定できない。

- ④ 問5では、全ての被験者が30分以内に著しい眠気を感じたと報告している。この原因として考えられるのは、講義開始時刻が4限目の終了後という時間的な問題以外に、前項の①と同様、照明を落とした環境の中で、偏光眼鏡を着用することでさらに照度が低下した講師映像を見続けたことに起因するものではないかと推測される。

なお、講師側からの問題点として、受講生が偏光眼鏡を着用しているため視線を確認しづらいことが確認された。また、本システムでは受講生を左右2群に分けて視線による情報を送ることになるため、各群に含まれる個々の受講生に対しては、視線のみではコミュニケーション・トリガを発生させることができず、発声による指名など補助的手段が必要であったことは言うまでもない。

以上の結果から、結論として、2チャンネル映像を用いればポスター効果は軽減され得ることが分かった。しかしながら、問4・問5の結果を見る限り、このシステムを実際の遠隔講義に導入することは健康上の問題から好ましくないとはいわざるを得ない。

次節では、この結果を踏まえて、現在実用化されている複数の画像分離方式を概観しながら、遠隔授業用の2チャンネルスクリーンに応用できる可能性を持つ方式を探る。

Ⅳ 立体視スクリーンの諸方式と遠隔講義への応用の適性

1. 視差画像分離方式の種類

現在、映画やTVに用いられている視差画像の分離方式を分類すると次の表1のようになる⁸⁾。はじめに述べたとおり空間投影型(体積ディスプレイ型)の立体投影は本稿のテーマではないのでこの中には含まない。

表1 視差画像分離方式の種類

表示方式	眼鏡有無	画像分割方式	視差画像分離方式	備考（一般呼称, 商品名 ^[注] 等）
スクリーン／ プロジェクタ	分離眼鏡方式	空間分割方式	赤青画像方式	アナグリフ
			波長選択方式	Infitec
			偏光表示方式	IMAX, IMAX デジタル3D, RealD
			RGB 波帯分割方式	Dolby3D
	裸眼方式	時分割方式	液晶シャッター同期方式	Xpand
		空間分割方式	パララックスバリア方式	
ディスプレイ	分離眼鏡方式	空間分割方式	レンチキュラレンズ方式	
			偏光表示方式	
			液晶シャッター同期方式	フレームシーケンシャル方式
	裸眼方式	空間分割方式	液晶シャッターディスプレイ方式	
			パララックスバリア方式	
			レンチキュラレンズ方式	
			バックライトコントロール方式	ライトディレクション コントロールシステム

注) Infitec は Infitec GmbH 社の、Xpand は X6D 社の、IMAX および IMAX デジタル3D は IMAX 社の、RealD は RealD 社の、Dolby3D は Dolby Laboratories 社の、ライトディレクションコントロールシステムは富士フィルム株式会社の、それぞれ商標または登録商標である。

視差画像分離方式としては下記のほかにも画像併置方式（サイドバイサイド方式）や減光遅延方式、またステレオスコープやヘッドマウントディスプレイを使った絶縁隔離方式などもあるが⁹⁾、いずれもその表示形態から考えて遠隔コミュニケーション用としては不適當であるためここからは除外した。また、各方式の詳細については詳述された書籍・資料等が多く存在するので本稿では説明を省略する。

なお、第3節の実験に採用したのはこのうち、「スクリーン／プロジェクタ方式―分離眼鏡方式―空間分割方式―偏光表示方式」に分類されるシステムである。

2. 遠隔授業への応用において予想される問題点

遠隔授業にこれらの立体視スクリーン技術を用いた場合には、立体視にはなかった固有の問題が生じる可能性が考えられる。

第一に、例えばアナグリフ式のような映像への着色を前提とした方式を利用した場合、基本的に受講者は着色された映像を見続けることになり、対面授業にはありえない、色彩による心理的影響が生じるであろうことが容易に想像で

きる。特に連続した大学の講義などでは、これが受講の障害になる可能性は非常に大きい。

第二に、立体視では許容されていたわずかなクロストークが、受講者の大きなストレスになる可能性が高いことは、前節の実験結果からも明らかである。両眼が異なる映像を見る立体視では、片方の眼に入るもう一方の眼用のわずかな映像は脳がその認知過程においてある程度修正してくれるが、常に片方の映像を両眼で見るとクロストークの許容量は立体視スクリーンの場合よりかなり小さいと考えられる。

第三に、遠隔授業で効率的な視線一致を行うには、半透過スクリーンやハーフミラーを用いてスクリーンの背後から講師を撮影する VEM などの装置が必要であり、これを利用すればその時点ですでに講師映像の輝度が落ちる。映像を二つに分離すればさらにその輝度は半分になり、その映像を偏光眼鏡越しに見るとさらに暗くなって、そのままだと受講者は非常に暗い映像を見続けることになってしまう。これが受講

者の目の疲れを増幅したり、眠気を誘発したりする原因になることは前節の実験で検証したとおりである。

さらに、立体視の場合でも同様であるが、専用の眼鏡を必要とする2チャンネルスクリーンでは、その眼鏡の装着感が悪ければそれがそのまま受講者のストレスとなる可能性がある。また、通常的眼鏡使用者をどのように対応させるべきかという問題も常に付き纏う。

3. 遠隔授業用画像分離方式の最適解

前項における考察から、遠隔授業用の2チャンネルスクリーンには次のような条件が考えられよう。

- (1) 映像に不自然な着色がないこと
- (2) 2つの映像の分離度が高いこと
- (3) 分離された2つの映像が十分な輝度を持つこと
- (4) 専用眼鏡の装着感が良好でストレスを感じないものであり、眼鏡使用者にも使用できるものであること。可能ならば専用眼鏡を用いない方式が望ましい。

これらの点を総合すると、もっとも望ましいのはレンチキュラレンズやパララックスバリアを用いた「裸眼方式—空間分割方式」である。この方式は上記(1)、(4)の条件を完全に満たしている。(2)の映像分離度においても、現在のパララックスバリアやレンチキュラレンズは、視聴者の位置がほぼ移動しない授業などにあってはほぼ確実に映像を分離することが可能である。また(3)の輝度という点でも、専用眼鏡による輝度ロスがない分、眼鏡式に対して有利であると考えられる。

また、ディスプレイ方式とスクリーン／プロジェクタ方式を比較すると、映像の輝度および鮮明さではディスプレイ方式が有利であるが、表示面積及びコストの面ではスクリーン・プロジェクタ方式が有利である。この点から考えると、受講者数50名以下の小規模教室ではディスプレイ方式、それ以上の中・大規模教室においてはスクリーン／プロジェクタ方式が望ましいと考えられる。

残念ながら、現在これらのシステムを用いた実験を行える環境が整っていないが、条件が整えば、今回の実験との比較においてその優位性を検証したいと考えている。

V おわりに

本稿で使用した2チャンネル映像システムでは、受講生を左右2群に分けて、それぞれの群を対象に視線によるコミュニケーション・トリガを送出するため、群に含まれる個人を指定する際には音声などの補助手段が必要であった。これは、II-2で述べたとおり、この実験以前に前提としていたことであった。言い換えれば、このシステムでは受講生が3名以上になると、ポスター効果は軽減されはするが解消されないのである。

これを解消するには、受講生各個人の着席位置に対応した講師映像を、各個人ごとに提示できる多チャンネル映像システムが必要となる。すなわち受講生の視点の数に等しい台数のカメラを講師の周りに配置し、そのそれぞれが撮影した映像を統合して受講生の前のスクリーンに映写し、その映像を再び分離して個々の受講生が見るというシステムである。

このようなシステムは、多チャンネル映像システムがたとえ実用段階に入ったとしても、言うまでもなく大人数の講義向きではない。カメラの設置や映像の送出経路を考えると、多くとも受講生10数名が限界であろう。

しかしながら、受講生数分の映像チャンネルがなくとも、視点の数が増えればひとつの「群」に含まれる受講生数は少なくなる。通常の対面授業にあっても、講師のコミュニケーション・トリガは視線のみで提示されているわけではなく、音声やジェスチャーなどと組み合わせられてマルチモーダルに伝達されていると考えられるので、ひとつの群に含まれる受講生数が十分に小さい場合には、視線はほぼ本来の機能を持ち得るのではないかと考えられよう。

デジタルサイネージの分野では、裸眼多視点の映像システムが既にいくつか試作段階にある。今後、これらのシステムと、体積型ディスプレイに代表される立体空間投影システムの発

Oct. 2011

双方向遠隔授業におけるポスター効果軽減の研究

達を見ながら、より完成度の高い遠隔授業環境の研究を進めることとしたい。

参考文献

- 1) 谷田貝雅典 / 坂井滋和 : 「視線一致型および従来型テレビ会議システムを利用した遠隔授業と対面授業の教育効果測定」, 日本教育工学会論文誌 Vol.30, No.2, 69-78ページ, 2006
 - 2) 谷田貝雅典 / 坂井滋和 / 永岡慶三 / 安田孝美 : 「視線一致型および従来型テレビ会議システムを利用した遠隔授業と対面授業における学習者特性に応じた学習効果の共分散構造」, 教育システム情報学会誌 Vol.27, No.3, 254-256ページ, 2010
 - 3) 田上博司 : 「遠隔授業における視線一致の必要性和その問題点解決のための一手法」, 教育システム情報学会誌 Vol.25, No.4, 394-402ページ, 2009
 - 4) 石川憲二 : 『3D 立体映像がやってくる』, 135-148ページ, オーム社, 2010
 - 5) 安居院猛 / 中嶋正之 : 『ステレオグラフィックス & ホログラフィーザ3D』, 44, 127, 138ページ, 秋葉出版, 1986
 - 6) 河合隆史 / 井上見和 (著), 井上哲理 (監修) : 『次世代メディアクリエイター入門1』, 19ページ, オーム社, 2003
 - 7) 河合隆史 / 盛川浩志 / 太田啓路 / 阿部信明 : 『3D 立体映像表現の基礎』, 109-111ページ, オーム社, 2010
 - 8) 前掲書 『3D 立体映像表現の基礎』, 27-45ページ
 - 9) 前掲書 『次世代メディアクリエイター入門1』, 55-61ページ
- (2011年7月1日掲載決定)