# インタラクティブな遠隔講義の為の講義支援システムの構築

佐　藤　貴　子

相模女子大学紀要　　VOL.78（2014）

# インタラクティブな遠隔講義の為の講義支援システムの構築

佐　藤　貴　子

# Interactive Multimedia Education System (IMES) for the Interactive Distance Education

SATO Takako

**Abstract：** In this paper we present an Interactive Multimedia Education System (IMES) which enables the interactive distance education. The importance of the joint researches and the collaborative educations is increasing nowadays where the globalization is expanding in various fields. To realize the continuous collaborative educations/researches, we have developed the system for the distance education through the internet network. We focus the lectures not only the lecturers' talk but also the discussion, presentation and question/answer between the lecturers and the students.

So we consider the necessary conditions for the smooth distance education as follows:

(1) both lecturers and students can see the each other's face.

(2) all participants can share the screen of the presentation in high resolution.

(3) all participants can point the screen by the laser pointer and can share the laser pointer tracks.

This paper explains the key technological elements of IMES, especially "basic video transmission technology," "presentation material sharing system," "screen/pointer action sharing system."

Then we introduce two cases of the lecture/research meeting through IMES.

**Key Words：** Distance Learning, Interactive Multimedia Education System, Low-bit Transmission

## 1．はじめに

グローバル化社会と言われる今日、地域をまたいだ研究、調査、討論の重要性は高まっている。例えば経済問題や環境問題など、地球規模で影響を及ぼす現象や、地域ごとに存在する特有の問題を取り扱う場合には、国や地域を超えた共同研究、共同調査、研究討論や合同授業の開設等は重要な要素である。しかしながら、講義や討論の度に直接研究者が各地に赴くには物理的・金銭的制約があり、毎週決まった時間に全員が参加する講義を実施したり、通常研究室で頻繁に行われているような輪講や打ち合わせを国や地域をまたいで行ったりすることはまず不可能である。

一方、インターネット網の世界的な整備により、ICT技術を生かして上述のような空間的障壁を除くための取組みがいろいろな形で進められるようになった。MOOCs（ムークス：Massive Open Online Courses）による多地点・多人数向け公開講義がその代表的なもののひとつ[1] [2]だが、MOOCsにお

いては授業の双方向性の機能を持たず[1]、一方的に講義を伝送し聴講できるようにしているに過ぎない。また、MOOCsは世界中に点在する膨大な数の受講生へ向けた講義には適しているが、一般的な講義の人数規模で教員や学生間の密度の高いやりとりを伴う授業形態、例えばグループワークや発表・討論を伴いリアルタイムに議論を戦わせるような講義には適していない。

筆者が昨年度まで在籍していた横浜国立大学では、医学部を持つ横浜市立大学とともに医工学連携に関する様々な取り組みがなされていた。文部科学省「魅力ある大学院教育」イニシアティブ「医学情報処理エキスパート育成拠点の形成」(平成17～18年度、実施代表者：有澤博)、ならびに大学院教育改革支援プログラム（大学院GP)「医療・福祉分野で活躍できる情報系人材の育成」(平成19～21年度、実施代表者：有澤博）の2つの教育プログラムでは、主に工学的背景をもつ横浜国立大学の大学院生に、横浜市立大学大学院医学研究科（修士課程）の基礎講義を聴講させていただくことで、工学の技術を医学に生かす糧になると考えた。しかし、教員や学生の物理的移動を伴うことはスケジュール的に困難であるため、遠隔講義を行うことで学習機会を設けようと考えた。

既存のTV会議システムは企業の会議を想定したものであるため、大学の講義におけるプレゼンテーションとは大きく異なる。大学の講義ではパワーポイントベースであり、プレゼンテーション資料にはかなり細かい絵・字が多く、特に医学系の講義では高画質の画像が多く使われている。その中で、注目点を示すのにレーザポインタが多用される。文字が主の資料と異なり、画像やグラフ中の位置を示すためにはレーザポインタによる指示は必須と言える。また、プレゼンテーション資料が完成することは講義直前で前もって資料を作成・配布することはほぼ不可能であり、予め用意周到に資料を参加者全部に配布し持参することを前提とした会議とは大きく異なる。そこで、大学等の講義専用にIMES（Interactive Multimedia Education System）を開発せざるを得なかった[3]。このプロジェクトに筆者は参画し、システム開発にも携わってきた。

本システムでは、講師と受講生の互いのカメラ映像、および音声をリアルタイムに双方向にやり取りができると同時に、投影資料（パワーポイントなどのプレゼンテーションファイル等）をレーザポインタの軌跡とともに共有し、講師がどこを指し示しながら話しているかについても共有できるようにしている。レーザポインタは受講生の側からも指し示すことができ、質問や討論を行う場合でも双方向にやり取りが行える。このような総合的なやり取りを講義に関わる全サイトが対等に参加できることが本システムの大きな特徴である。

さらに、平成21年に横浜国大で始まった、科学技術戦略推進費「リスク共生型環境再生リーダー育成」プログラム（平成21～25年度、実施代表者：金子信博）ではIMESの技術が着目され、海外最大9拠点を含む大学間の双方向同時授業を、通常のインターネット回線を使って行うこととなった。しかし、海外との遠隔講義では、国内での場合より一層インターネット回線が細く不安定であるため、低ビットレート対応など更なる技術改善が必要となった。筆者は国際授業の運営実施に加わる一方で、技術開発の一部にも大きく関わった。

そこで、本稿では、海外等の遠隔地と双方向遠隔講義を行う上で要求される技術要素を整理したうえで、その中でも特に重要な、「基本的な映像伝送技術」、「投影資料共有システム」、「画面操作・レーザポインタ等の共有システム」について述べる。実際にIMESを使った事例として、毎週一回、９ヶ国９大学を結んで行った遠隔講義と、群馬－横浜間をつないで行った研究打ち合わせについて紹介し、その有効性を十分に検証する。

## ２．要求される技術要素

前章で述べてきたとおり、本稿が対象とする遠隔講義はグループワークや発表・討論を伴うようなインタラクティブ性の強い講義を対象としている。その上で、必要となる技術要素は以下と考えられる。

① 講師と受講生のカメラ映像が相互に見える
② 講師はもちろん、受講生側の音声も講師・受講生全てに聞こえる
③ 投影資料（パワーポイントなどのプレゼンテーション資料）を細かい文字や図・グラフが読める程度に高画質に共有できる
④ 投影資料中のどこを指示しながら話しているか、も共有できる

最近では高画質TV会議システムという商品があ

1 質問やそれに対する討論を行う掲示板のような機能はあっても、講義中に講師が生徒を当てて答えさせたり、講義の進行中に講師を交えた討論を行ったりすることはできない。

り、企業の本社－支社間の会議などに普及しつつある。高画質TV会議システムでは上記のうち、①・②と投影資料の共有は実現できる。しかし、これらは本社－支社間に専用のインターネット回線を引くなど高速なインターネット環境を前提にしたシステムである。回線速度が遅いと映像・音声のリアルタイム性が優先されてしまうため、投影資料の画質が非常に悪く文字が読めない、数分程度遅延して届くなど、ほぼ実用に耐えない。

これを踏まえ、IMESにおける基本的な送受信の概念は次の図１の通りである。

基本的には各教室では、講師や他の教室（３地点以上の場合）の様子を写したカメラ映像の画面と、投影資料を映す画面の２画面を装備する。投影資料とレーザポインタ位置は映像・音声とは別に共有される。

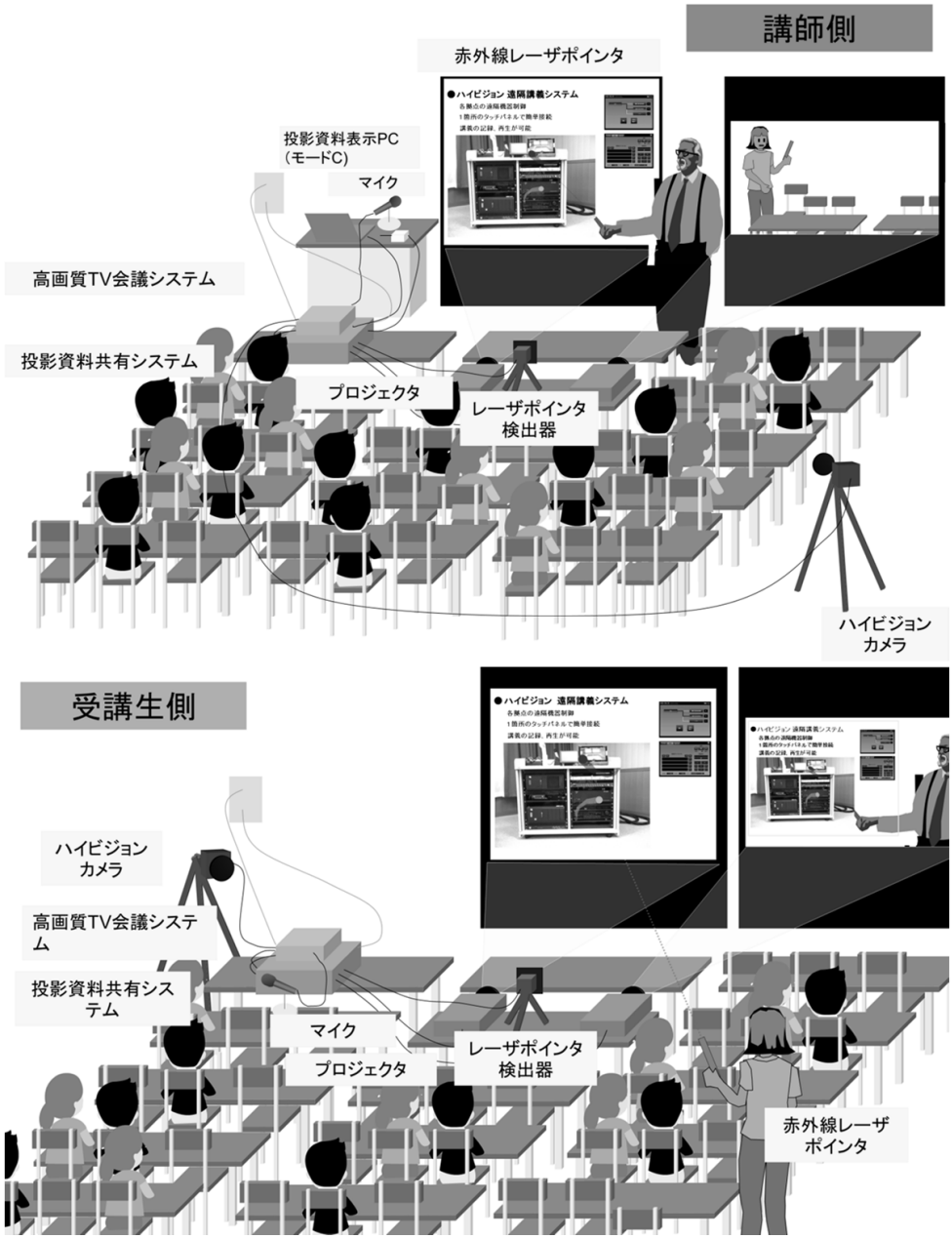



図１　IMESを用いた基本的な遠隔講義の概念

## ３．技術要素の実現

### 3.1.　基本的な映像・音声の伝送

映像は最も説得力のある基本的な情報やりとりの手段であるが、データ量の多さゆえ、インターネット回線で安定して伝送するためには技術上の困難があり、それを克服するための多くの研究開発が行われてきた。

要求される技術としては、Internet上に１対向、あるいは複数の拠点間で大量のデータ（映像、音声）が流れるため、データ圧縮技術等を駆使し、リアルタイムに確実に送信再生することが基本である。

従来のアナログ放送時代の通常のTV解像度はPC画面にすると640×480ピクセルに相当し、これを実質30フレーム/秒で伝送していたが、ハイビジョンTVでは1920×1080ピクセル（Codecにより多少異なる）を30フレーム/秒で送っており、画像の精細度の違いは歴然としている。

しかしこの映像のデータ量は非常に大きい。各ピクセルに自然色に対応する1677万色を割り当てると３bytesが必要であり、１秒あたりの伝送量は単純計算では通常TVで216Mビット/秒、ハイビジョンTVでは実に1458Mビット/秒にもなってしまう。これは通常のInternetの速度（高速回線でも100Mbits/sec）と比べて非常に大きい。このため、多少の情報損失を覚悟の上で、元映像を圧縮して伝送する技術は必須である。現在、地上波デジタル放送で用いられるHDVという方式ではハイビジョン画像を25Mビット/秒、ハードディスクレコーダ等に用いられるH.264という方式では２～８Mビット/秒程度でも人間が見て不自然でない映像のエンコード・デコードが可能となった。我々が通常の海外を含む講義等で用いることができるのは１～３Mビット/秒の範囲であり、インターネットを用いてハイビジョン画質の映像がリアルタイムで伝送できるようになったのは、高度なエンコード・デコード技術の成果といってよい。

我々は当初は独自のエンコード・デコード方法によるシステムを開発したが、現在では商用のTV会議システムで安価にH.264方式での映像伝送が行えるようになったため、映像・音声の伝送には市販のTV会議システムを利用している[4] [5]。

### 3.2.　投影資料共有システム

大学等の講義では、講師の講義資料や学生のプレゼンテーションなど、パワーポイント等の投影資料を用いることが非常に多い。しかも、説明文のみならず、添え字付きの数式や化学式、地図やグラフなどの細かい図表、精細な写真やアニメーションなど、様々なコンテンツを盛り込んだ資料が多い。

投影資料は講師や学生の映像・音声と並行して全ての教室に共有する必要がある。しかし、細かい文字や精細な図・写真を読めるように伝送するためには前述のH.264方式では不十分であり、投影資料の情報量は非常に大きくなる。画面の解像度をXGA（1024×768ピクセル）と仮定し、１ピクセルあたり色情報に３バイトを要するとすると、１画面のデータ量は19Mビットとなる。これはハイビジョン映像よりは少ないが、滑らかにアニメーションを再生することは困難である[2]。さらに画質の良い解像度SXGAの場合は１画面32Mbitsとなる。画像の圧縮手法は様々あるが、文字が中心の場合、写真の場合、グラフなどが中心の場合などにより画質劣化が少なく圧縮効率の高い圧縮方式が異なるため、一律に高効率の圧縮方法を使うことができない。

しかしそのためには授業に参加する全サイトに対してその日の全授業に必要な投影資料を確実に届けておくことが必要である。我々はそれをPMCU（Presentation Multipoint Communication Unit）という簡単なサーバを立てておき、このサーバに事前に講義用の投影資料をファイル化してアップロードしておき、一方各受講サイトは講義前までの好きな時にサーバからファイルをダウンロードするという方法により解決した。現在の PMCUはノートPC程度の簡単なものですみ、配信サイト数も20以上と十分な性能を持っている。

この投影資料の共有方式を我々は『モードB』プレゼンテーションと呼んでいる。概念図を図２に示す。

なおモードＢにおいて、投影資料をファイル化して事前に送るためには、パワーポイントや画像列を直接データ変換してアップロードする方式と、講演者のPCの画面をキャプチャしてアップロード方法がある。前者はデータの圧縮効率は高まるが、変換できる形式は限られており、アニメーションはできない。それに対し後者の手法では、あらゆるプレゼンテーションソフトに対応できるうえ、アニメーションも自動で検出してファイル化できるので、すべてのサイトで簡単なアニメーション付き投影資料

2　アニメーションが滑らかに動いて見えるためには10フレーム/秒は必要であることが知られている

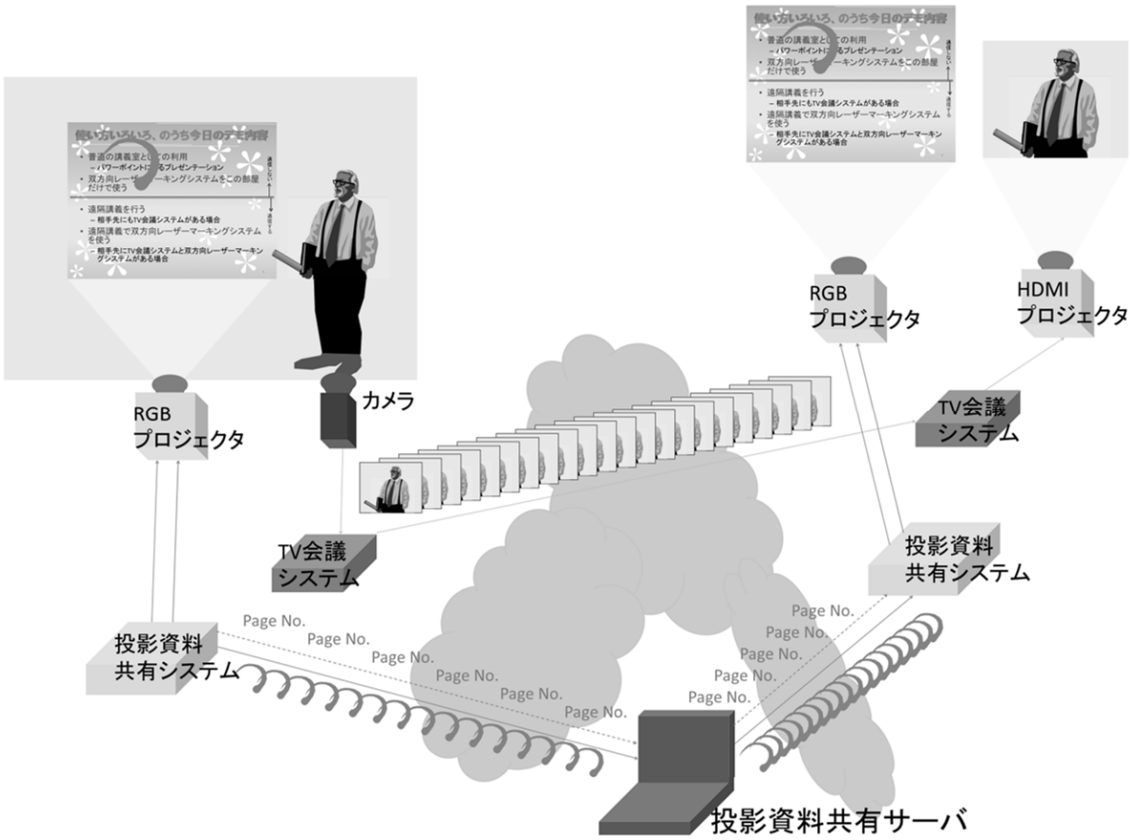



図２　モードＢによる投影資料・レーザポインタの軌跡の共有

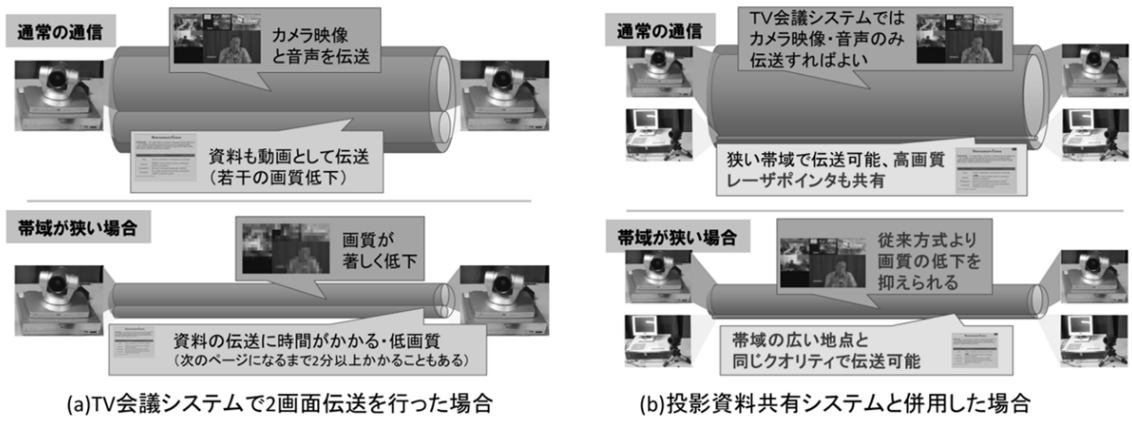



図３　投影資料共有システムの利用による伝送容量の側面から見たメリット

を共有できる。

モードBを利用すると、投影資料の画質の劣化が少なくなるだけでなく、高画質TV会議システムが使えるネットワークの伝送容量もより大きく確保できる。そのため、全体的に画質・音質を向上できるという利点もある。伝送容量の模式図を図 3に示す。

また、講義によっては、ホワイトボードや黒板の文字、実物投影機で写した資料など、事前に登録不

可能な映像・画像を共有したい場合もある。このような場合に備え、IMESでは、講師側で実物投影機やカメラなどの出力画面を直接取得し、ネットワーク負荷を上げないようフレームレートを下げて各サイトに配布する『モードC』と呼ばれる通信方式も用意している。

### 3.3. 画面操作・レーザポインタ等の共有システム

一般的に、講義や学生の発表などで投影資料を用いる場合、資料中の図や写真、グラフ等を部分的に指示しながら説明したり、その場で矢印や文字などを書き込んだりする機会は多い。遠隔講義や遠隔討論においても、同様のインタラクティブな操作性が必要である。

市販のTV会議システムでは、企業等の会議を想定していることから、事前に資料が十分整っていて全地点に配布されている環境で、投影資料は補助的な説明手段ととらえ、資料の一部を指し示すようなインタラクティブな操作は必ずしも重視されていない[3]。

しかし大部分の講師・発表者が当日か前日までにしか資料を準備できず、かつ当日は投影資料を指し示しながら、時には質問や話合いも含ませながら行うような授業・講演においては、インタラクティブな操作性は非常に重要である。特に講義では、講師が受講者を見ながら説明するため、プロジェクタで映した投影資料をレーザポインタで指し示すスタイルが非常に好まれる。また、質疑応答や討論の場では、講師のみならず受講生が投影資料を指し示す状況が考えられる。

そこで、我々は、ネットワーク越しに1枚のスクリーン（投影資料が表示されている面）を共有し、どの地点からも自由にレーザポインタを使って指し示すことができ、それを全ての地点から見ることができる、ということを要件と考えた。

最も簡単な方法はプロジェクタでの投影画面をカメラで撮影し、他の地点に送る方法である。しかし、プロジェクタの投影画面やPCのディスプレイは人の目で感じる以上に非常に明るく、レーザポインタの点を含めて綺麗に撮影することが意外と難しいこと、前節・前々節で述べたカメラ映像のエンコード・デコードの過程でにじみやぼけが生じ高精細で見やすいPC画面を伝送することが難しいことから不十分といえる。

投影画面を表示するPC上のマウスカーソルやタブレット等を使い画面を指し示す方法もあるが、演者の動きを制約することになるので一般には好まれない。

上記の問題を解決するため、IMESでは「双方向レーザマーキングシステム」を開発した。原理を次の図４に示す。このシステムでは、赤外光を照射するレーザポインタを使用するため、レーザポインタの光そのものは人間の目には見えない。

実際の手順は次のとおりである。

① 講師・発表者は赤外線レーザポインタを用い、スクリーンをポイントする。
② スクリーン上のレーザが当たった位置を検出器で検出する
③ 検出した位置を制御用PCに取り込み、講義に参加中の全地点に対し「レーザポインタ位置の発信元とレーザポインタの軌跡の位置情報」を配信・共有する。
④ ③と並行し、投影資料そのものも共有する[4]
⑤ 各地点で③・④の情報をもとに、投影資料にレーザポインタの軌跡等を重ね書きした画面を作る。レーザポインタの軌跡はポインタ位置の発信元に応じて色を変えることで、講師のポインタと受講生のポインタを見分けられるようにする。

実際のマーキング画面を図５に示す。

## ４．実例

筆者が横浜国立大学に在籍していた際に担当していた、IMESを利用した講義・共同研究の中から２つの事例を紹介する。利用した機材の一例（一地点分）を図６に示す。

### 4.1. 海外複数大学との遠隔講義

アジア7か国・アフリカ２か国（インドネシア、マレーシア、タイ、フィリピン、ベトナム、中国、ケニア、マダガスカル、日本）の９地点をつなぎ、

3 筆者が体験した補助金の説明会における利用シーン（多地点接続）では、数十ページの文書が予め全参加地点に配布されており、投影資料は配布文書の要約にとどめられ、配布文書中の対応ページ・行を適宜述べながら説明するというスタイルがとられていた。

4 モードBでは、事前にサーバにアップロード・共有した資料のうち「どの資料のどのページを表示しているか」という情報を共有する。モードCでは、講師側で投影資料を表示したPC画面や実物投影機の出力画面を取り込み、低ビットレートで配信する。

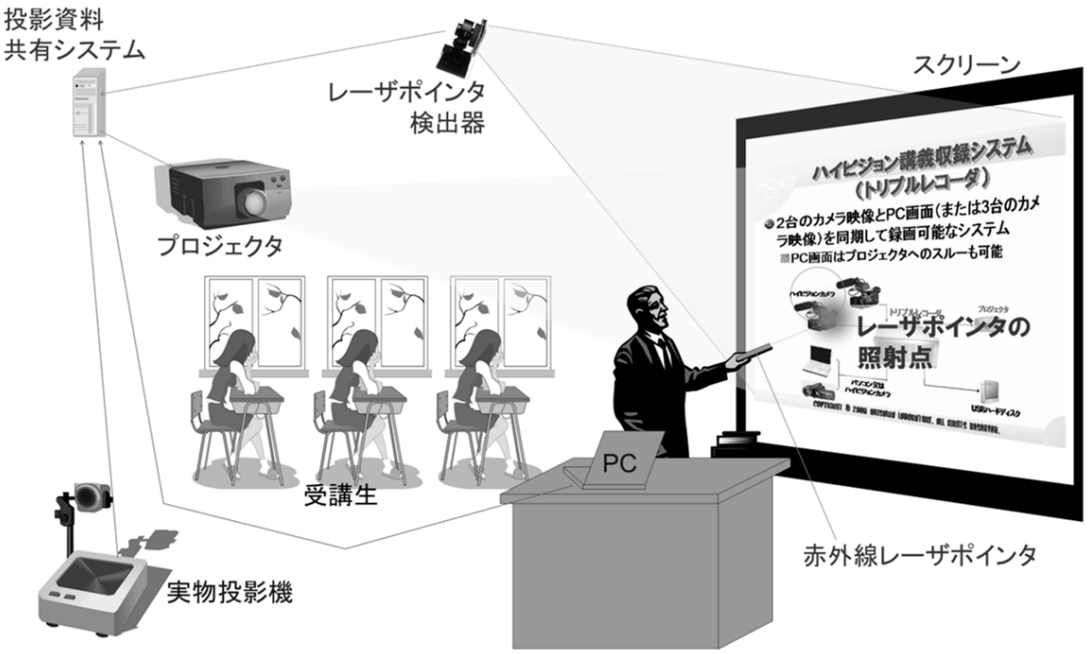



図４　双方向レーザマーキングシステムの原理

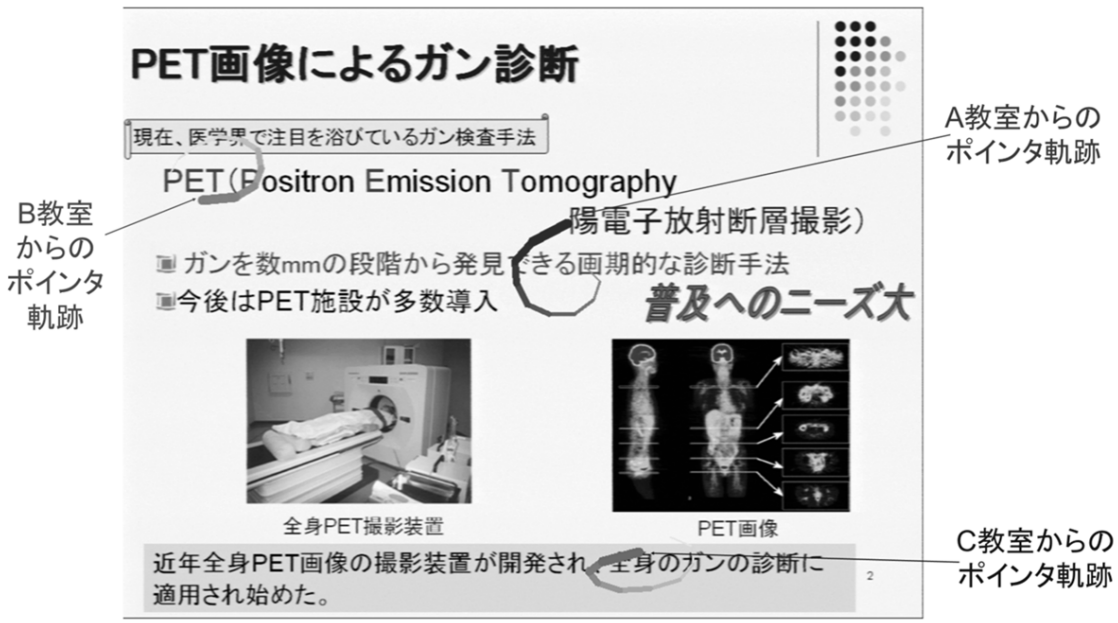



図５　双方向レーザマーキングシステムで共有されるレーザポインタの軌跡



図６　IMESの一地点分の機材（一例）

毎週１回環境問題を取り上げた講義を行った（図７、図８）。講義は学生の持ち回りによるプレゼンテーション（10分程度）、講師の話（40分程度）、各地点からの質疑応答と討論（40分程度）という構成であり、日本→海外への一方通行的な講義ではなく、学生のプレゼンも講師の話す位置も毎回変えていた。この講義の特色として、接続地点数が非常に多いこと、地点ごとのインターネット回線の速度差が大きいことが挙げられる。特にマダガスカルはインターネット回線が整備される途上であり、講義を開始し




図７　遠隔講義における２画面中継




図８　９地点中継でのカメラ映像の分割画面

た当初は国全体で２MB/秒程度しか回線速度が出ないとすら言われていたほどである。このような非常にネットワーク回線の狭い地域との遠隔講義では、投影資料の共有に使うネットワーク資源を節約できたことにより映像・音声＋投影資料・レーザポインタ位置の共有が行え、おおむね好評であった。

また、我々が利用しているTV会議システム（SONY PCS-XG80）では、オプション機能による多地点接続は６地点までしかできず、そのままでは9地点同時に講義を行うことができなかった。接続大学を２グループに分けてしまうと、別グループからの講義や質問で映像・音声が見えなくなってしまう。しかし、７地点以上同時接続可能な多地点接続用サーバは非常に高価であり、導入することができなかった。そこで我々は、６地点接続可能な機材を2台組み合わせた簡易的な多地点接続システムを構成し[6]、講義を実施した。

### 4.2.　国内での共同研究ミーティング

群馬県の医療機関と研究室とを結び、数週間～１ヶ月程度に１回、医師との間で医学画像処理に関する共同研究のミーティングを行った（図９）。テーマが医学画像処理であるため、元画像はもちろん、処理した結果画像を何枚もめくりながら指し示しながら討論を行った。１枚の画像に複数個所議論すべき領域がある場合もあるため、場所を指し示しながらの議論が大いに役立った。

近年、Skype等を用いた研究ミーティングが盛んに行われるようになってきているが、医学画像のように高精細な画像を、画質を落とさず、その場で適宜表示位置を変えながら共有しなければ意味がないような状況下では、我々のシステムの真価が発揮できると考えている。

## ５．まとめ

本稿では、インタラクティブな遠隔講義を実現するためTV会議システムと投影資料共有システムを組み合わせたIMES（Interactive Multimedia Education System）を構築し、実際の遠隔講義や共同研究ミーティングで利用して有用性を示した。

実際に遠隔講義を実施する上で感じたことは、遠隔講義システムを有効活用し、学習効果を上げるためには、システムの操作性・機能の向上だけでは不十分であるということである。どれだけ機能があっても、一方的に講師側から受講生へ話すだけの講義スタイルをとってしまうと、受講生にとってはビデオ講義の視聴と変わらない感覚となり、学生の興味関心を引き出すことは難しい。通常の、講師と受講生が同じ教室で授業を行っている時以上に意識的に

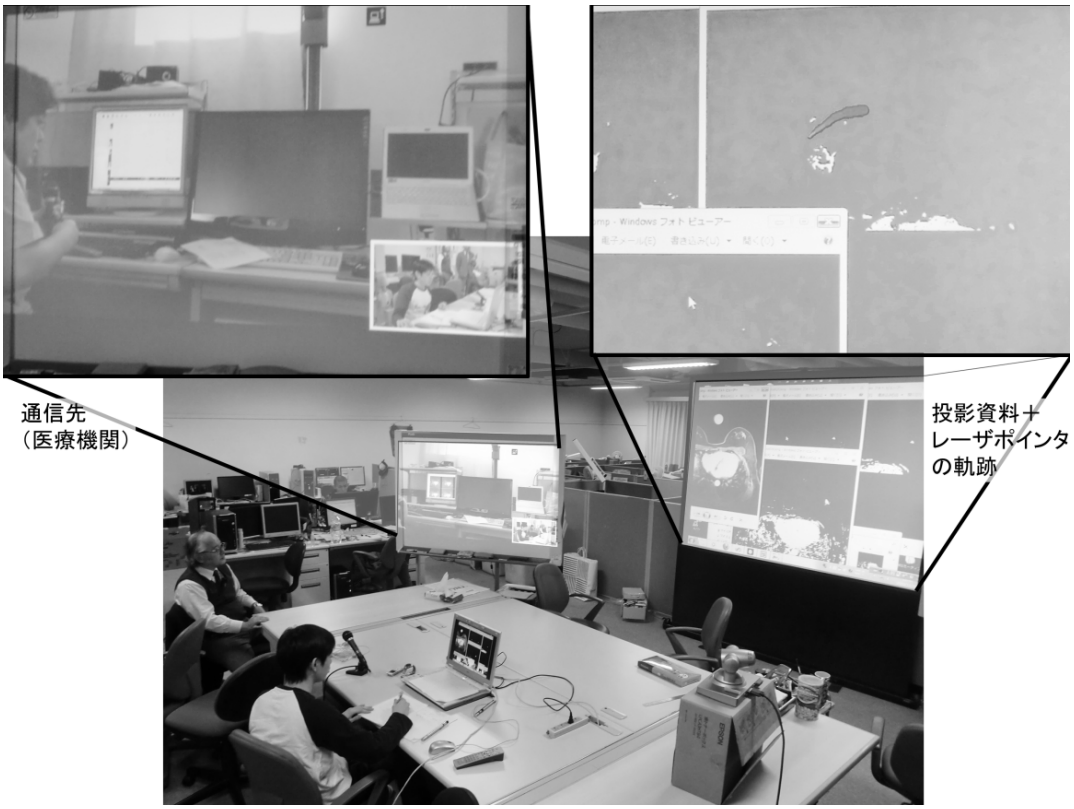



図９　共同研究ミーティングの様子

講師や司会者が積極的に話しかけ、発言させ、発表などをさせることで初めて、遠隔地で受講している学生に「授業に参加している」という意識が生まれ、学習到達度にも良い影響が与えられるといえる。

今後の課題としては、投影資料中心ではなく板書中心の講義や、ソフトウェアパッケージを利用したデモンストレーションでは、現状ではモードCによる通信が限度だが、よりネットワーク回線を圧迫しない画面の共有手法を実現すること、システムの設営にかかる手間・時間を軽減し手軽に使えるようにすることなどが挙げられる。

## 参考文献

［1］V. A. Group, "Research & Practice in Assessment -- Special Issue: MOOCs & Technology," *Research & Practice in Assessment*, vol. 8, 2013.

［2］Greta Keremidchieva, Plamen Yankov, "Challenges and Advantages of Distance Learning Systems," *Information & Security,* vol. 6, pp. 115-121, 2001.

［3］佐藤貴子，徐浩源，金子信博，有澤博，"双方向遠 隔講義システムIMESの構築と海外８大学との 多地点遠隔講義での運用," *国公立大学情報シス テム研究会,* vol. 17, pp. 85-89, 2014.

［4］ソニー株式会社，HDビジュアルコミュニケーションシステム取扱説明書（バージョン2.3），2010.

［5］ポリコム社，管理者用ガイド：VSXシリーズバージョン：8.5，2006.

［6］佐藤貴子，“インタラクティブな遠隔講義のための簡易型多地点中継システムの実現，”*メディア情報研究*，相模女子大学学芸学部メディア情報学科，2015（To be published）.