

### 3. ハイビジョン映像による教室講義の コンテンツ化

亀田 能成<sup>†</sup>

キーワード フルハイビジョン, ストリーミング, 黒板, ホワイトボード, スライド, 視力

#### 1 ま え が き

教室で数十人程度の受講生を前にして行う講義は、教育現場における重要なコンテンツの一つである。講義を、その行われるままにコンテンツ化することができれば、潜在的には多くの講義をコンテンツにすることができるので、このような取組みに対する需要は大きい。

講義のコンテンツ化を進めるに当たって重要なことは、そのコンテンツ化が関係者の誰にとってもメリットがあり、かつ誰にとってもその構築・運用が負担にならないことである。このバランスを欠くシステムを実用に供し続けることは難しい。例えば、Lecture Management System (LMS) を用いて講義コンテンツを整備すれば、その講義コンテンツの価値は高いものであり、かつその利用時にはLMSのメリットを最大限享受できる。しかしながらその準備・制作にかかる労力は決して少なくなく、一般的な講師にとってその労力は気安く用意できるものではないのが現状である。一方で、講義を単にビデオで収録するだけでは、往々にして映像の解像度不足など講義のレビューに必要な情報が不足し、学生側からみてまったく価値のないコンテンツになりがちである。

こうした問題に対して、われわれは、教室で通常行われている対面講義をそのままハイビジョンで記録して講義コンテンツ化することを提案している<sup>1)</sup>。提案手法では、簡素な撮影・運用手法を導入するものの、その収録映像には必要十分な講義情報が含まれるように注意が払われている。これによって、上記のバランスの問題が解決できている。

講義アーカイブは、講義を行う側（講師側）、講義を受ける側（学生側）、講義アーカイブの運用を担う側（運用側）の三方にメリットがなければ実効性がない。それゆえに、提案手法では以下の形でそれぞれにメリットをもたらすことを狙っている。

##### (1) 講師側のメリット

これまでの対面講義と同じことをするだけで講義コンテ

ンツ化が進む。講師側は講義コンテンツ化に際して、通常とまったく同じように講義に臨むだけでよい。

##### (2) 学生側のメリット

本講義アーカイブによって、通常の対面講義に参加したときに得られたであろうものと同じだけの映像・音声情報にアクセスできることが保証される。場合によっては、教室にいるよりも良い品質の情報ソースにアクセスできる。また、アクセスにあたって、準備は標準的なOSとそれに付随するソフトウェアだけでよい。

##### (3) 運用側のメリット

まず撮影時においてはカメラとマイクを用意するだけであり、準備・撮影時のコストが低い。また、サーバ運用においても、標準的なサーバソフトウェアの基本的な機能を用いるだけであり、運用コストが低い。

筆者らが提案するハイビジョン撮影による講義アーカイブが、これらのメリットを享受できる理由の詳細については文献1)を参照されたい。概略を示すならば、提案手法の着眼点は、教室で学生が受講時に受けられる情報品質の上限は、その学生の視力と聴力で制限される、という点である。このことは、収録されるべき講義の映像・音声データの品質には上限があり、それ以上の品質で収録しても意味がないことを意味する。この品質の上限を、注意深く設定したハイビジョン撮影であれば、ほぼ達成できることが文献1)で述べられている。

本稿では、提案手法に基づくシステムの実際について、文献1)よりも詳細に述べるものとする。

#### 2. 対応する講義形式

黒板やホワイトボード、プロジェクタスクリーン（これらを総称してここでは講義板と呼ぶ）が教室の前面にあり、講師がその講義板の前に立って授業をしている形式が、提案手法でコンテンツ化可能な講義形式である。黒板・ホワイトボード・プロジェクタスクリーンについては、それらが同じところにあるのであれば、授業中に講師は好きに切替えてよい（例えば、板書をしていて、途中から黒板の前にスクリーンを下してビデオを再生するような状況はこれに該当する）。さらに、講義板の近辺にいるのであれば、講師は身振り手振りのみならず、実験道具などを持ち込ん

<sup>†</sup>筑波大学 大学院 システム情報工学研究科

"Content Generation of Classroom Lectures by HD Video" by Yoshinari Kameda (Department of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba, Tsukuba)

でも構わない。また、講師にはスライドや資料の提出は事前には一切求めないし、用いる機材・ソフトウェアについても、講義板にその内容を表示する限りまったく自由である。また、音声は肉声でも拡声でもよい。このような講師に対する拘束の少なさは、講義アーカイブのチャンスを飛躍的に増大させる。

### 3. 講義アーカイブシステム

提案する講義アーカイブシステムにおいて、必要とされるシステム要件は少ない。最小構成であれば、必要なのはハードウェアとしては注意深く機種選定されたハイビジョンカメラ、ワイヤレスマイク、それにデスクトップクラスの計算機1台だけである。ソフトウェアはオープンソフトウェアで入手できるものだけでよい。以下にわれわれが現在用いているシステムの具体的な要件を示す。

#### 3.1 ハイビジョンカメラ

本システムの構成上、最も条件が厳しいのがこのカメラに関する条件である。

- (1) 横1920画素、縦1080画素
- (2) 30fps
- (3) 焦点距離を固定できること
- (4) 外部マイク入力が可能であること
- (5) 映像を単一のファイルで出力できること

条件(1)は、さまざまな講義状況に広く対応するために、映像は高解像度であるほうが望ましいからである。条件(2)の30fpsは、これまでのアンケート調査により必ずしも必須条件でないことが明らかになっている<sup>1)</sup>が、通常の商用ビデオカメラは、標準でこのスペックをサポートしているので、そのまま条件とする。条件(3)は、講義ならではの要求で、講義板を用いる場合、ときどきその中にまったくテキストチャが含まれていない可能性があり、その状況でピンボケにならないための対策である。また、講師の音声を確実に収録するために外部ワイヤレスマイクを用いるので、条件(4)のマイク入力は必須である。現在の民生用デジタルビデオカメラは、AVCHD準拠の映像ファイル出力であることが多いが、この形式はオープンソフトウェアによる映像操作が難しく、推奨できない。条件(5)に示したように、より可搬性の高い単一ファイル形式が望ましい。

#### 3.2 ワイヤレスマイク

ワイヤレスマイクは、300/800MHz帯域を用いた無線方式や赤外線方式等が普及しているが、前者は既存の教室設備との競合・干渉が多いこと、後者は講師につけたマイクの発光部が講師の動作等で受光素子側から見えなくなった時点ですぐ音声途切れてしまうということから、いずれも適切ではない。ここでは、同じ無線でも競合干渉の可能性が少なく済むデジタル方式のワイヤレスマイクシステムを選択する。

#### 3.3 サーバ

計算機で行う処理としては、新しい映像ファイルが得られるたびに一度だけ行う再エンコード処理と、そのあとの講義アーカイブとしてのWWWサーバ機能との両方がある。これらは、同じ1台の計算機で行ってもよいし、再エンコード処理だけ一旦別の計算機で行い、生成されたファイル群をその後WWWサーバのほうに移して公開させてもよい。ハードディスクについては、講義アーカイブの予定規模によるが、公開用の映像のみ(4.2節参照)をサーバ上に維持するのであれば、特別なハードディスク構成を用いる必要はなからう。ただし、バックアップや対故障性能を求める場合にはこの限りではない。

#### 3.4 システム詳細

現在われわれが運用しているシステムでは、ビデオカメラとしては三洋電機のDMX-HD2000を用意し、Full-SHQモード(1920×1080, 30fps, 12Mbps)を用いて講義収録を行っている。併せて用いるデジタルワイヤレスマイクには、同じく三洋電機のHM-W300を用いている。これらの組合せを用いると、標準バッテリーのみで大学の講義1コマに相当する90分を十分にカバーできるため、カメラ設置場所に電源を必要としない。また、ワイヤレスマイクの無線到達距離も通常の教室程度の大きさなら問題なく使えるレベルである。

一方、計算機としては、再エンコード時間を短縮するためにはCPU性能が高いほどよいが、時間短縮に対して強い要求がないのであれば、一般的なデスクトップPCレベルのスペックで充分である。また、WWWサーバとして用いる場合は、その同時利用ユーザ数に依存して必要となるハードウェア性能が大きく異なってくるが、登録受講生が100名以下の講義に対する講義アーカイブであれば、ハードウェア性能に特段の配慮は必要ないというのがわれわれの経験である。

現在筆者らが運用しているシステムでは、OSとしてはLinux環境(Kernel 2.6)を用い、再エンコード処理にはGPLで配布されているmplayerプロジェクト<sup>2)</sup>(version 1.0rc2)中のmencoderというソフトウェアを用い、WWWサーバ処理には同じくGPLで配布されているapache httpd(version 2.2.14)を使用している。後述の4.3節のように、本システムでは、ビデオ再生ソフトウェアの機能に頼ってストリーミングに近い再生を実現するので、WWWサーバ側には特別のモジュールを用意する必要はない。2009年夏の時点でわれわれのサーバのスペックを一例として挙げておく。なお、この例では再エンコード処理は下記計算機と別のもの(CPU: Core2Duo 6400/2.13GHz, 主記憶2GB)を用意して利用している。

CPU: Pentium4/2.53GHz  
 メモリー: 512MB  
 NIC: 100BASE-T

カーネル：Linux-2.6  
 httpd：apache 2.2.14  
 HDD：SATA-IIないしUSB2.0接続  
 (運用1年目現在で実効1TB)

#### 4. 講義コンテンツ化の手順

本章では、運用上の手順について概要を示す。これらには、講義アーカイブの構成が違えば若干変更すべきパラメータが含まれているが、ほとんどの場合はそのままよい。

##### 4.1 カメラの設置

カメラの設置場所は、原理的には、想定する学生の視力と、その学生の講義板に対する着座位置によって決定される。決して講義板の大きさやその上の提示情報の分解能(プロジェクタの分解能や黒板に出す文字の大きさ)によって決定されるべき性質のものではないことに注意されたい。

例えば、今、視力1.0の学生が講義板に対して5.0mの位置に着座していたとする(筆者らの通常の講義室ではこれは前から数列目となり、かなり真面目な学生に相当する)と、その視力によって、その学生は講義板上の1.5mmのギャップまで目視可能である。そこで、目安として、このギャップが映像上で1画素となるようにハイビジョンカメラを設置する。ハイビジョンカメラの縦横の解像度を考慮すると、この結果として講義板として講師が利用してよい大きさは、横2880mm、縦1620mmまでとなる。言い方を変えれば、このサイズまでの講義板が、映像フレームに丁度入る位置にハイビジョンカメラを設置する。これによって、映像視聴者に対し、着座位置5mで視力1.0の学生と同じクオリティの講義視聴を保証できる。参考までに、視力1.0で5m距離のランドルト環を図1に示す。また、着座位置5mの学生の想定視力と、それに対するハイビジョン撮影における利用可能な講義板の大きさとの関係を表1に示す。ただし、表1の講義板の大きさは正面の講義板に対する分解能から求めた値であり、講義板の端での分解能も保証しようとする、講義面はさらに小さくなることに注意されたい。

なお、この視力1.0で5mの着座位置というのは目安にし過ぎないが、一方で、講義板上の分解能について考えてみると、黒板についてはチョークの線幅が1mm~2mm程度、ホワイトボードについてはホワイトボードマーカの中字線幅が2mm程度であることから、最も良い位置に座っている学生が見える限界と多くの場合合致する数字であると言える。なお、プロジェクタスクリーンの分解能については、スクリーンの物理的大きさと映像信号の分解能で決定されるが、例えば、1280×1024のプロジェクタを幅2m程度のスクリーンで提示すると1.56mm/画素となり、これもまた仮定している学生の視力にはほぼ配慮している状況であると言える。

##### 4.2 映像圧縮

インターネットが高速化した現在でも、映像ストリーミ

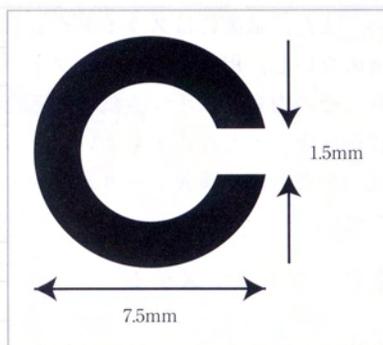


図1 視力1.0のランドルト環(5m距離)

表1 推奨する講義板の大きさ(5m着座時)

視力	分解能[mm]	横[mm]	縦[mm]
1.5	1.00	1,920	1,080
1.0	1.50	2,880	1,620
0.7	2.14	4,114	2,314

表2 講義映像圧縮規格

モード	MG	SG
横[pixel]	1920	1920
縦[pixel]	1080	1080
Fps	29.97	1.00
kbps/video	2,000	256
kbps/audio	128	128
Video CODEC	WMV8	WMV8
Audio CODEC	WMA-v2	WMA-v2
10分のバイト数	159MB	29.3MB
90分のバイト数	1.4GB	263MB
90分15回でのサイズ	21.5GB	4.0GB

ングにおいて使用帯域は少ないほうが望ましいのは当然である。ここでは、講義では激しい動きが見られることはあまりないため、通常のハイビジョン映像よりも圧縮率を高めても講義理解に影響がおよびにくいことに注目する。なお、音声に関しては、講義では重要であることと、映像に比べて単位時間当たりのデータ量が要求されないことから、高い圧縮は行わないものとする。

また、映像圧縮においてもう一つ考慮すべきなのは、その圧縮形式である。一般的に普及している形式を採用するほうが、利用者側からみてコストが低くなる。

これらの点を踏まえ、本システムでは、Master Grade (MG)、Standard Grade (SG)の2モードを視聴用に用意する。それぞれの規格を表2に示す。

MGは講義アーカイブとして必要十分な映像品質を確保できる規格であり、若干圧縮ノイズが見受けられるものの、提示素材を限界の解像度で見たり、講師の身ぶりを視聴したりするには十分な品質となっている。SGは低帯域ネットワーク利用を前提にした規格であり、主に時間解像度を犠

性に行っているが、板書やホワイトボードを利用した講義などにおける講義情報の視聴には問題ない品質である。いずれも、Microsoft社のWindows Media Playerなどで再生できる圧縮形式である。

日本の一般的な大学での講義が90分授業の15週程度であることを考えると、MGであればBlue-Ray DVD1枚に全講義が保存可能であり、SGならばDVD1枚でも保存できることが表2からわかる。

元のFull-SHQのファイルフォーマットであるMP4からMG/SGに変換するに当たって、10分ごとに区切るセグメント処理も同時に行う。各ビデオファイルサイズの最大値をこれによって制限することで、WWWサーバ上でのファイル管理の負担や利用者側のビデオ再生ソフトウェアへの負荷を軽減し、合わせて、利用者の手作業による映像シーク時の分解能の最低値を保証する(長い映像でなければ、シークバーによる頭出し操作は利用者にとってそれほど困難ではない)。

#### 4.3 視 聴

利用者のソフトウェア導入負荷を考えると、想定するプレーヤは、最近のPC環境で標準的に装備されているプレーヤであることが望ましい。MG/SGモードによるファイルの再生は、Microsoft社のWindows Media Playerで標準対応している\*。

現行のPC環境において、もう1点プレーヤに望まれるのは、ディスプレイ以上の解像度の映像ストリームを100%の拡大率で再生できることである。一般利用者の環境では、1920×1080以上の画素数のモニタの普及率はまだ高くないため、この配慮は十分な解像度で映像を視聴するためには必須である。このために、本システムではWWWページ上に映像再生ウィンドウを埋め込む形での視聴方式を用意している。このEmbedと呼ばれる方式では、WWWブラウザとしてMicrosoft社のInternet Explorerを用いれば、ブラウザ上のスクロールバーを操作することで任意の部分フレーム再生が可能になる。

### 5. 学生の利用状況

本システムによる講義アーカイブを、筑波大学工学システム学類の授業を対象に試行している。1年生1学期配当の「情報処理(講義)」では、1コマ75分の10週の授業をすべてアーカイブ化した。なお、4週目は事前収録したビデオの

\* Windows VISTA以降でWindows Media Player 11以降であれば、プレーヤのほうで擬似ストリーミング再生が行われるので、利用者は映像ファイルを最後までダウンロードしなくても視聴を開始することができる。

みで講義を行った。受講生は73名である。これについて、アンケートを行ったところ、8週目終了時までで12人の受講生が平均40.2分利用し、その後8週目から試験直前までの期間には37人の受講生が平均183.0分利用したとの申告があった。対象者が1年生で、実際に講義を受けているにも関わらずこれだけの利用者がいたことは、本講義アーカイブが講義の復習に十分なだけの情報を含んでいることを示している。なお、本講義アーカイブについては、<http://www.kameda-lab.org/lecture/archive/index-j.html>において運用している。一部一般公開もしているので、興味のある方はご覧頂きたい。

### 6. む す び

本稿では、ハイビジョン映像を前提とした、シンプルでかつ有用な、講義アーカイブシステムの構築・運用方法について紹介した。本システムは、講師・学生・運用側のいずれにもメリットがあり、可搬性に優れ、導入コストも小さいという利点があるため、実際の教育現場で今後普及が期待される。

講義の電子化については、通常の講義を単純にビデオで収録してコンテンツ化する本手法と同様のアプローチの他に、スライド提示する部分を高機能化してスライド情報を別途獲得し低解像度のビデオと組合せて表示する方法や、高解像度ビデオからデジタルカメラワークによって、より見やすい映像生成を行う方法などが提案され、実用化もされているが、こうしたアプローチは残念ながらどの教育機関のどの講義室でも行えるという性質のものではなく、その意味で、われわれの紹介したアプローチは極めて現実的な解法であると言える。その観点からも、本稿で紹介した一見単純な仕組みによる、簡素でありながら、内容的に受講に十分なだけの情報量を持つ講義コンテンツ化の手法は、この先もかなりの長期間にわたって需要があり続けるであろう。

(2009年11月17日受付)

### 〔文 献〕

- 1) 亀田能成: "ハイビジョン時代の講義アーカイブに向けた取組み—教室での講義コンテンツ化—", 第5回デジタルコンテンツシンポジウム(DCS2009), p.6 (2009)
- 2) "MPlayer - the Movie Player", <http://www.mplayerhq.hu>



かめだ となり  
**亀田 能成** 1991年、京都大学工学部情報工学科卒業。1996年、同大学院博士後期課程認定退学。同年、同大学助手。2001年～2002年、米国MIT客員研究員(併任)。2003年、筑波大学講師。2004年、同大学院助教授、現准教授。複合現実感やマルチメディア処理等の研究に従事。博士(工学)。