

## 鳥取-熊本間での講義ビデオ遠隔自動収録の試みについて

永井孝幸<sup>†1</sup> 豊田寿行<sup>†2</sup> 名古屋孝幸<sup>†2</sup>  
西澤弘毅<sup>†2</sup> 今井正和<sup>†2</sup>

市販機材による安価な講義自動撮影を実現するために、著者の永井は固定ハイビジョンカメラと仮想カメラワークを用いた講義ビデオ自動撮影・加工システムの開発を行っている。2010年度後期より、開発したシステムを用いて鳥取環境大学の講義を収録し、熊本大学に設置したサーバでビデオの自動加工を行う実験を開始した。本報告では、講義ビデオ遠隔自動収録におけるシステム構築のポイントと現在の運用状況について述べる。

### An attempt to automatically record lectures at a far away campus by a distributed lecture recording system

TAKAYUKI NAGAI,<sup>†1</sup> TOSHIYUKI TOYOTA,<sup>†2</sup>  
TAKAYUKI NAGOYA,<sup>†2</sup> KOKI NISHIZAWA<sup>†2</sup>  
and MASAKAZU IMAI<sup>†2</sup>

To make lecture capture a daily educational tool in higher educational organization, we have been developing a labor-saving and cost-effective lecture capture system using stationary high-definition camcorder and virtual camerawork. From the beginning of the second semester in 2010, we have started a trial of automatically recording lectures at Tottori University of Environmental Studies with the system. In the trial, lectures recorded at Tottori are automatically transferred to and processed by a video processing server at Kumamoto, which is more than 600 kilo-meters away from Tottori. In this report, we describe ideas to realize long-distance remote lecture recording and operational result.

<sup>†1</sup> 熊本大学総合情報基盤センター  
Center for Multimedia and Information Technologies, Kumamoto University  
<sup>†2</sup> 鳥取環境大学環境情報学部

### 1. はじめに

近年、教育サービスの提供・改善手段としての講義ビデオの活用が広がりつつあり、講義収録インフラはLMS(Learning Management System)と同様に高等教育機関にとって不可欠な教育インフラになると考えられる。

LMSについてはBlackboardに代表される商用システムだけでなく、Sakai,Moodleといった世界規模で利用されているオープンソースシステムが存在し、各大学で一から独自のシステムを構築する必要はなくなりつつある。これに対して講義収録システムは各大学独自システムとMediasite,Echo 360などの商用システムが多数を占めているのが現状である\*1。商用システムに匹敵するオープンソースのシステムとしてはOpencastプロジェクト(<http://www.opencastproject.org>)によるMatterhornシステムの開発が始まり、2010年8月にバージョン1.0がリリースされたところである。運用に必要なサーバ・収録用ハードウェアの組み合わせなどのノウハウがこれから蓄積されていくと思われるが、Matterhornの開発を行っている北米・ヨーロッパの大規模大学と日本の大学では教授法や講義室の設備が異なるため、日本の大学でそのまま利用できるとは限らない。導入するハードウェアがPCサーバだけで済むLMSと違い、講義の収録インフラは各教育機関が個々のニーズに応じて収録設備とソフトウェアを組み合わせる必要がある。

著者の永井は収録時のカメラ操作が不要で簡易な講義収録方式として固定ハイビジョンカメラと仮想カメラワーク<sup>1)</sup>を用いた方式に着目し、市販のハイビジョンカメラと小型サーバを組み合わせた低コストな講義自動収録加工システムの開発・運用を行ってきた<sup>2),3)</sup>。2008年度後期から熊本大学内の実際の講義に対して自動収録を行い、システムの導入・運用コストに大きな問題がないことを確認している<sup>4)</sup>。

開発したシステムでは講義室に自動収録用のカメラと小型サーバを設置するが、必要な費用は実費で1セット20万円程度であり初期のプロジェクターと同じ程度の価格である。OpenCastプロジェクトで開発中のMatterhornシステムでも、自動収録用端末のコストは数千ドル程度\*2と想定されている。プロジェクターの整備されていない講義室が現在では考えにくいように、講義の自動収録設備についても今後はプロジェクターと同程度に普及が進むと考えられる。

Department of Environmental Studies, Tottori University of Environmental Studies  
\*1 <http://www.lecturecapture.com/index.php?/topic/245-lecture-capture-in-higher-education/>  
\*2 <http://opencast.jira.com/wiki/display/MH/Capture+Reference+Hardware+v1.0>

しかし、一般に自動収録システムでは収録端末に加えてビデオ加工・配信用のサーバが別途必要であり、大量に講義収録を行うにはこれらサーバの導入・運用コストが課題となる。全学的な規模で収録を行う場合は数十～数百の講義室が収録の対象となるため、サーバも数十台の規模での導入が必要になると予想される。サーバ設置場所の確保やセキュリティ対策・障害対応の手間などの導入・運用コストを考えると各講義室にサーバを設置するのは得策ではない。特に、講義収録は講義期間（4月～7月,10月～1月）しか行わないため、大量のサーバを導入したとしても一年のうち3分の1は活用されず無駄が大きい。全学の計算機センターに他のサーバと集約して設置するか、あるいは Amazon EC2 などのクラウドサービスを講義期間に限って利用するのが現実的である。いずれにしても、大規模収録を現実的なコストと時間で実現するには収録端末と加工サーバを地理的に離れた場所に設置することになる。

講義自動収録システムを地理的に分散して設置することは、停電・ネットワーク障害などのために運用が不安定になりがちである。しかし、サーバを遠隔地に設置した状態でシステムを安定して運用することが可能であれば、自組織内の講義収録に必要なサーバを集約するだけでなく、さらに進んで他組織とサーバ資源を共有することで大幅に導入・運用コストを削減できる可能性がある。そこで今回、遠隔地にあるサーバ資源を用いて講義自動収録を行う際の課題・問題点を明らかにするため、著者が開発した講義自動収録システムを用いて鳥取・熊本間での講義ビデオ遠隔自動収録を開始した。

本報告では、講義ビデオ遠隔自動収録におけるシステム構築のポイントと現在までの運用結果について述べる。まず2節で著者が開発した固定ハイビジョンカメラ・仮想カメラワークにもとづく講義自動収録システムの概要を説明する。次に、遠隔自動講義収録における課題を3節で述べる。引き続き、遠隔講義自動収録を実現するために今回行ったシステムの改良内容について4節で述べた後、システム導入結果について5節、運用結果について6節で述べる。最後に7節で今後の課題について述べる。

## 2. 講義自動収録システムの概要

本節では今回の講義ビデオ遠隔自動収録に用いる自動収録システムの概要について述べる。詳細については過去の研究会報告<sup>2), 4)</sup>をご覧ください。また、遠隔自動収録の実施にあたってシステムに施した改良内容については4節にて述べる。

開発したシステムは分散構成となっており、スケジュール配信端末、ビデオ自動収録端末（手動キャプチャ端末を兼ねる）、ビデオ加工サーバから構成される（図1）。スケジュール配

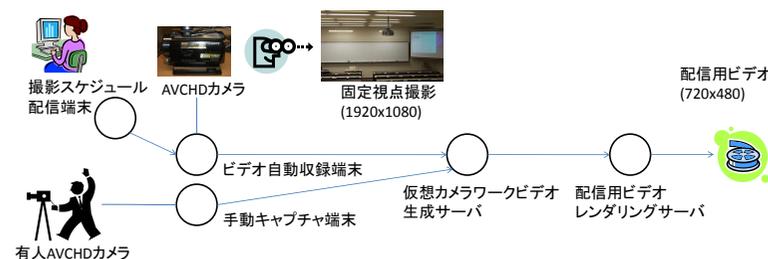


図1 講義ビデオ自動収録システムの基本構成

Fig. 1 Basic structure of our automated lecture recording system

信端末から配信される撮影スケジュールに従ってビデオ収録端末が自動的に講義の撮影を行い、撮影データをビデオ加工サーバに自動アップロードする。ビデオ加工サーバは新規データの到着を検出し、仮想カメラワークに基づいたビデオの自動生成を行う。

この自動収録システムでは自動追尾式カメラは用いず、その代わりにフルハイビジョン解像度（1920×1080）の固定カメラを用いて講義室全体を撮影した後、仮想カメラワーク<sup>1)</sup>を用いて視聴に適したビデオを生成することで撮影時のカメラ操作を不要にしている。また、板書とスライドを併用する講義にも対応できるよう、プロジェクトスクリーンの変化を検知してカメラ視点を切り替えるように自作の仮想カメラワークアルゴリズム<sup>5)</sup>を用いている。

## 3. 遠隔自動講義収録における課題

遠隔収録の前提条件を最初に3.1節で述べ、その後、遠隔地の講義を自動収録する際に考慮すべき課題について述べる。この節では課題を挙げるにとどめ、各課題の解決策については後の4節で述べる。

### 3.1 鳥取-熊本間での講義自動収録体制

今回の遠隔自動講義収録では鳥取環境大学の学内LANに自動収録端末・LMS(Learning Management System)・ビデオ配信サーバを設置し、ビデオ加工サーバを熊本大学総合情報基盤センター内に設置することとした。組織間でのサーバ共有実験を行うため、ビデオ加工サーバでは熊本で収録した素材と鳥取で収録した素材の両方の素材を取り扱うものとする。

鳥取環境大学では学内-学外間の通信をファイアウォールを用いて制限しており、学内から学外へのssh通信はNAT経由、ftp/http通信はプロキシサーバ経由で自由に行えるが、学外から学内LANへの通信はVPNクライアント(Cisco AnyConnect)を用いる必要があ

る。一方、熊本大学側のサーバにはグローバル IP アドレスが割り当てられており、外部ホストとの直接通信が可能である。

今回の実験は鳥取環境大学情報システム学科が主催する対面講義を収録の対象とし、1 コマ 90 分の講義を固定フルハイビジョンカメラを用いて自動収録する。収録数は毎週 20 コマ程度であり、一日辺りの撮影数は多い日で 6 コマ程度である。自動収録されたビデオのデータを自動的に熊本に転送し、熊本側で仮想カメラワーク付き講義ビデオに加工した後、鳥取側に送り返すことで遠隔自動講義収録を実現する。講義ビデオの配信・閲覧には鳥取環境大学内でこれまで用いてきた LMS<sup>6)</sup> をそのまま利用するものとする。

### 3.2 遠隔自動講義収録において考慮すべき課題

自動講義収録に遠隔地のサーバ資源を用いる際にはサーバ性能をはじめとして、以下に挙げるようにネットワークの通信帯域や運用担当者が異なることによる非同期的な協調作業についても考慮が必要である。

#### 3.2.1 ビデオ加工サーバ共有時の処理性能確保

ビデオ加工サーバを共有することで処理すべき素材の量が増えるため、十分な処理性能を確保する必要がある。これまでのシステム実装<sup>4)</sup>では 1 コマ分のビデオを加工するのに 4 時間かかっており、一日辺り 6 コマの講義ビデオを加工できる計算になるが、熊本・鳥取のビデオを全て加工するには処理性能の向上が必要である。

また、サーバ共有の実現方法として、「(方法 1) 鳥取・熊本で収録された素材を両方とも扱えるようにビデオ加工サーバを改良する方法」と、「(方法 2) 1 つの物理サーバ上に熊本用・鳥取用のビデオ加工サーバとして仮想マシンを複数動かすという方法」が考えられる。

方法 1 では加工する素材の収録場所を自動的に判別し、収録場所に応じて加工パラメータ・加工後の配信先を自動的に切り替える処理が新たに必要になる。方法 2 では複数の仮想マシンが同時にディスクにアクセスすることによるディスク I/O の性能低下に注意する必要がある。ビデオ加工ではディスク I/O の性能が処理時間に大きな影響を及ぼすため十分な処理性能が得られない恐れがある。

#### 3.2.2 ネットワーク帯域の確保

鳥取-熊本間のネットワーク接続状況を調べるため scp コマンドを用いてファイル転送速度を測定した結果、鳥取-熊本間のファイル転送速度は 3 ~ 4Mbytes/sec であった。講義 1 コマの収録につき 10GB の AVCHD データが生成される<sup>\*1</sup>ため、講義 1 コマ分のデータを

鳥取から熊本に転送するのに約 40 ~ 60 分かかる計算になる。ただし、この転送速度はネットワーク帯域を使い切った場合の速度であり、実際の運用においては他のトラフィックのための帯域を残しておく必要がある。さらに、学内でのネットワーク利用が多い日中の講義時間帯については、ネットワーク帯域を占有するデータ転送は避ける必要がある。

平日の 19 時から翌朝の 7 時までを鳥取からのデータ転送に使うとすると一晩で最大 12 ~ 18 コマの撮影データを転送できる計算になる。一日辺りの収録が 6 コマ程度であるため十分に余裕があるように思えるが、これに通信帯域の制限が加わり、電源やネットワークの障害・各種メンテナンスにより通信が一晩停止するケースを考えると十分な余裕があるとは言えない。

#### 3.2.3 障害耐性の確保

長期間にわたって自動収録システムを運用する際は、計画停電・事故停電によるシステムの停止・再起動失敗、ネットワーク障害による通信途絶、ディスク交換・ソフトウェア更新等の保守作業が避けられない。同一施設内でシステムを運用する場合は障害発生状況の把握や保守作業は難しくないが、収録システムを遠隔地に分散配置する場合は障害の発生状況を把握しにくくなるだけでなく、障害発生から保守作業までの時間も長くなる。また、業務スケジュール・講義スケジュールが鳥取側と熊本側で異なることから、システム全体を一斉に止めて保守を行うことができない。

したがって、システムに部分的な障害・保守作業が発生しても自動収録端末・ビデオ加工サーバがそれぞれ自立して動作可能となるようにシステムを構築する必要がある。

#### 3.2.4 収録場所に応じた仮想カメラワークパラメータの変更

収録素材に対して仮想カメラワークを施した講義ビデオを生成するには、黒板・ホワイトボードの位置をカメラワーク生成用パラメータとして設定する必要がある。また、講師の動きを追跡するカメラワークを生成するには座席に座っている学生の動きを無視するための「動き検出マスク」を設定する必要があるが、カメラの取付位置によって学生がカメラの視野内に映り込む位置が変わってくる。

このため、鳥取・熊本の講義室毎にカメラワーク生成用パラメータ・動き検出マスクを準備しておき、ビデオ加工時に素材の収録された場所を自動判別し、パラメータ・マスクを自動的に切り替えるようにする必要がある。

## 4. 遠隔自動講義収録に向けたシステムの改良

3 節で述べた課題を考慮し、今回の遠隔講義自動収録を実施するにあたってシステムの改

\*1 市販ハンディカム SONY HDR-SR12 によるフルハイビジョン撮影の実測値

表 1 サーバスペック

Table 1 The specification of servers used in the system

サーバ	機種	CPU	OS	備考
カメラ制御・キャプチャ用サーバ	SheevaPlug	Kirkwood 1.2GHz	Debian 5.0.5	
仮想カメラワークビデオ生成サーバ	DELL Precision T5400	Xeon 2.5GHz(4コア)	Debian 5.0.5	PxVC1100(SpursEngine)追加
配信用ビデオレンダリングサーバ	Mac Mini	Core 2 Duo 2GHz	Mac OS X Server 10.5	QuickTimePro追加

良を行った．内容は以下の通りである．

#### 4.1 ビデオ加工サーバ処理速度の向上

以前のビデオ加工サーバでは，90 分の収録素材（解像度 1920×1080,AVCHD 形式）から仮想カメラワークを施した講義ビデオを生成するのに約 4 時間かかっていた<sup>4)</sup>．今回の実験では熊本・鳥取合わせて多い日で一日あたり 8 コマの講義を収録するため，講義ビデオの加工が収録に追いつかないことが考えられる．そこで，ビデオ加工サーバのハードウェアを更新して処理速度の向上を行った．今回用いたサーバの仕様は表 1 の通りである．CPU コア数の増加ならびにバス速度向上の結果，ビデオの加工にかかる時間が 4 時間だったものが 3 時間に短縮され，講義収録のペースに合わせてビデオの加工を行うことが可能になった．

ただし，複数の仮想サーバを同時に動作させてビデオ加工を行うには性能が不足するため，鳥取・熊本間でのサーバ共有を実現する方式として 3.2.1 節で述べた方法 2（ビデオ素材の収録場所に応じて加工パラメータ・加工後の配信先を自動的に切り替える方式）を用いることとし，自動収録端末側でビデオ素材に講義室情報を付加するよう処理を追加した．

#### 4.2 受信バッファ用データ中継サーバの設置

3 節で述べたように，長期間にわたるシステム運用ではビデオ加工サーバを一時的に停止することは避けられない．しかし，鳥取-熊本間のデータ転送には時間がかかるため，サーバ停止によって収録データの受付を中断してしまうとビデオの加工が収録のペースに追いつかなくなってしまう恐れがある．

そこで，データ受信バッファの機能を果たす中継サーバを用意し，鳥取から送られてくるデータを中継サーバで一旦受信した後にビデオ加工サーバに転送する構成とした．中継サーバを経由すると収録データが加工サーバに到着するまでの時間が延びてしまうが，ビデオ加工サーバ停止中でもデータ受信が可能であるため，熊本側の保守作業を気にせずに鳥取側のシステムを運用することが可能である．この結果，鳥取-熊本間の限られたネットワーク帯域を最大限に利用することができ，平日夜間にデータ転送とサーバの保守作業を同時に行うことができる．

表 2 撮影科目情報の例

Table 2 An example of recording information

撮影日	収録開始時刻	収録時間(分)	科目名	撮影教室
2010/11/01	08:40:00	90	情報基礎B	3F演習室@熊本大学
2010/11/01	09:00:00	95	計算機言語	27講義室@環境大学
2010/11/01	13:00:00	95	ソフトウェア設計	27講義室@環境大学
2010/11/01	13:00:00	95	情報セキュリティ	29講義室@環境大学
2010/11/01	14:30:00	90	コンピュータと社会	手動撮影@熊本大学
2010/11/01	14:40:00	95	経営情報システム	29講義室@環境大学
2010/11/01	16:20:00	95	情報数学	29講義室@環境大学
2010/11/01	16:20:00	95	情報産業論	27講義室@環境大学

#### 4.3 収録場所・時刻に基づく収録講義の自動判定

収録素材に対して適切な仮想カメラワークを用いた講義ビデオを自動生成し，素材情報と合わせて LMS に講義ビデオを自動登録するには，収録された素材がどの科目のどの講義のものであるかを自動判定する仕組みが必要になる．撮影情報を収録前に確実に登録できる場合は，自動収録端末が収録を行う時点で収録素材に対して撮影情報を付与することが可能である．しかし，当日急に撮影が決まったケースや，普段の講義以外のイベントを撮影するケースでは撮影情報の登録が遅れることがある．

今回のシステム改良では撮影情報が収録後に登録されるケースも想定し，収録素材がビデオ加工サーバに届いてから撮影情報を付与する方式を採用した．この方式では自動収録された素材だけでなく，手動で撮影してビデオ加工サーバにアップロードされた素材も同じように扱えるというメリットがある．

自動判定は次のようにして行う．まず，ビデオ加工サーバに撮影科目情報（撮影日，収録開始時刻，収録時間，科目，撮影教室）を事前に判明している範囲で登録しておく（表 2）．

次に，収録素材を加工する段階で，収録素材の基本情報（撮影場所，日付，撮影開始時刻，撮影時間）に最もよく合致する撮影情報を事前に登録された撮影情報の中から探す．撮影場所・日付に基づいて該当候補の絞り込みを最初に行い，残った候補の中から収録時間帯が最もよく一致するものを選択する．この結果，該当講義に適合するパラメータ・動き検出マスクが選択され，収録場所に応じた仮想カメラワークが生成される．最初の選定の段階で該当候補がなくなった，あるいは収録時間帯の一致度が低い候補しか残らなかった場合には「候補無し」として仮想カメラワークを生成する前の時点で処理を中断し，他の収録素材の加工を開始する．

処理が中断されている素材を見つけた場合は，素材の基本情報を確認して該当する撮影情報をビデオ加工サーバに登録する．あとは該当素材の処理を再開する命令を発行するだけでビデオが生成される．仮想カメラワークを生成する前の段階まで処理が既に終わっているた

め、処理を再開してから講義ビデオが生成されるまでにかかる時間は 40 分程度である。

#### 4.4 プライベート LAN に設置された LMS との連携

熊本側で生成された講義ビデオを鳥取側の学内プライベート LAN に設置された LMS に自動登録するには、ファイアウォールを超えてファイルを送り届ける手段が必要になる。

熊本側から直接ファイルを送るには鳥取側の LMS サーバを DMZ に設置する必要があり、鳥取側のサーバ環境の大幅な変更が必要となる。VPN 接続クライアントを用いて鳥取側の学内 LAN にアクセスすることは可能であるが、VPN 接続を常時維持することはセキュリティ上の問題になりやすい。また、鳥取との VPN 接続に利用できる VPN 接続クライアントでは手でパスワードを入力する必要があり、自動で VPN 接続を行うことができない。

そこで、加工の済んだ素材を鳥取側のサーバから熊本側のサーバに定期的に受け取りに行く方式でファイル転送処理を実装した。基本的な仕組みはメールの POP 受信と同じであるが、実際のファイルの転送には ssh(scp) を用い、公開鍵を用いた端末の認証と転送データの暗号化を行っている<sup>\*1</sup>。

### 5. システム導入結果

この節では今回の遠隔自動講義収録に用いた講義ビデオ収録加工システムの実際の構成・物理配置、ならびに導入にかかったコストについて述べる。なおシステム構築に用いたサーバのスペックは表 1 の通りである。

#### 5.1 講義ビデオ自動収録加工システム構成

本システムは撮影スケジュール配信端末、講義収録・キャプチャに用いるビデオ自動収録端末、データ中継端末（今回は手動キャプチャ用端末と兼用）と、収録ビデオの加工に用いる仮想カメラワークビデオ生成サーバ、配信用ビデオレンダリングサーバから構成される（図 2）。

鳥取側の機材は全て鳥取環境大学の学内 LAN に設置されており、鳥取側から熊本側のサーバへの通信は容易であるが、熊本側からの鳥取側機材への直接アクセスはできない。このため、熊本側から鳥取側にデータを配信する際は、4.4 節で述べたように「鳥取側のサーバが熊本側のサーバまで受け取りに行く」ことで間接的にデータ配信を実現している。

講義撮影スケジュールを鳥取・熊本で共有しやすくするため、鳥取側の撮影スケジュール

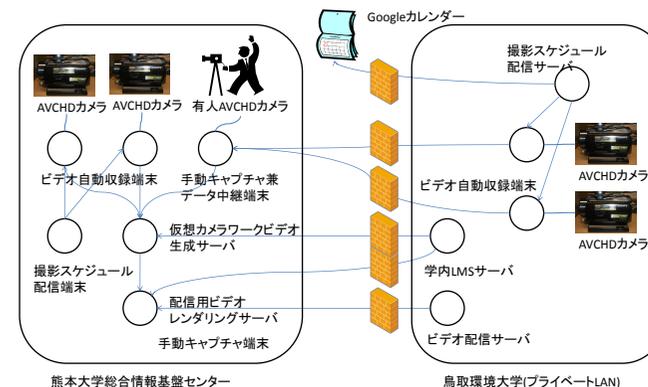


図 2 遠隔講義自動収録システムの構成

Fig. 2 System structure of distance auto lecture recording system

管理には Google カレンダーを用いている。撮影スケジュール配信サーバが Google カレンダーのデータを iCal 形式で読み出し、各自動収録端末に撮影スケジュールを配信する。講義ビデオ収録後、自動収録端末からデータ中継端末を経由して仮想カメラワークビデオ生成サーバにデータがアップロードされ、ビデオの加工が開始される。仮想カメラワークビデオの生成後、鳥取側で配信するビデオの H.264 データと素材情報を鳥取側に設置された LMS サーバ、ビデオ配信サーバに配信し、全体の処理が終了する。撮影から配信までのビデオの加工工程を図 3 に示す。

#### 5.2 鳥取側収録システム物理配置

収録用カメラ・サーバ類の設置・調整作業は著者らが実施し、2 講義室分の作業を約 2 日で行った。鳥取環境大学に今回設置した自動収録システムでは、講義室内にはカメラ・外付け制御回路のみを設置し、小型サーバ・外付け HDD の部分については講義室裏にあるネットワーク機器室に設置している（図 4）。収録システムの設置に要した壁面工事・配線工事の費用は 2 講義室分あわせて約 10 万円であり、熊本での設置工事費<sup>4)</sup>と大きく違わなかった。

### 6. システム運用結果

2010 年 9 月下旬から遠隔講義自動収録システムの定常運用を開始し、鳥取環境大学・熊本大学内の講義やイベントのビデオ収録・加工を行った。この節ではシステムの運用結果ならびに運用中に生じた問題について述べる。

\*1 ssh による自動ログインを単純に許可するとセキュリティ上の問題が発生するため、データ受信用の jail 環境を構築して scp の実行だけを許可している。

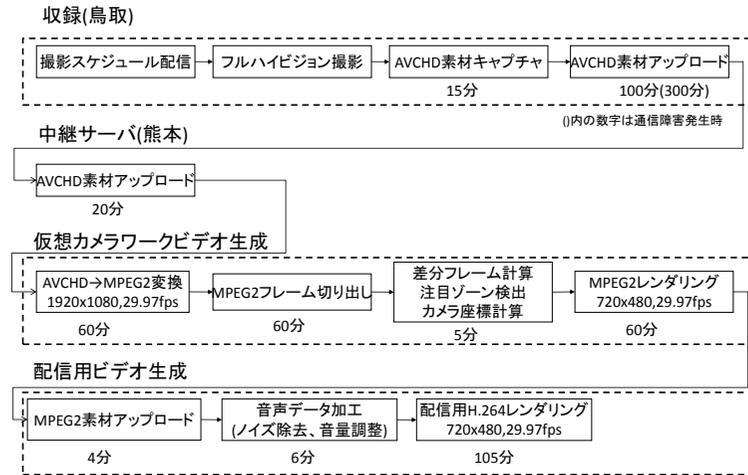


図 3 講義ビデオの遠隔収録から配信までの工程 (90 分収録の場合)

Fig. 3 The workflow from distance recording to streaming in the case of 90-minute recording

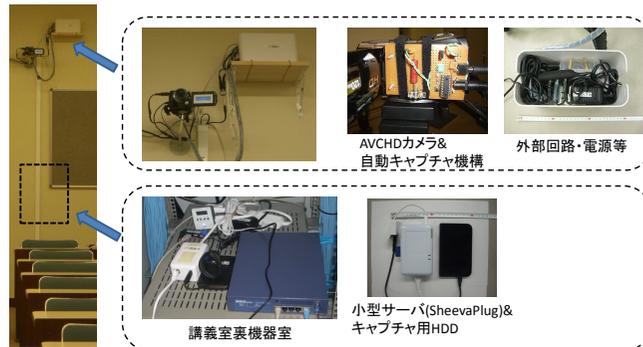


図 4 自動収録システム設置状況

Fig. 4 The deployed auto-recoding unit in a lecture room

### 6.1 講義収録状況について

鳥取環境大学では今回 20 科目を自動収録の対象とした。時間割の関係上、月・水・金に撮影が集中し、最も収録が多い月曜日に 6 コマの講義収録を行う (図 5)。熊本大学では 2 科目を自動収録、2 科目を手動収録の対象とした。熊本大学では水曜日に最も収録が多く、3

表 3 ビデオ収録結果

Table 3 Summary of the recorded lectures

収録地点	収録方法	対象	収録回数	収録時間(分)	素材データ量(GB)
鳥取	自動	対面講義(20科目)	86	8159	973
熊本	自動	対面講義(2科目)	18	1616	193
	手動	対面講義(2科目)	7	457	55
合計			111	10232	1221

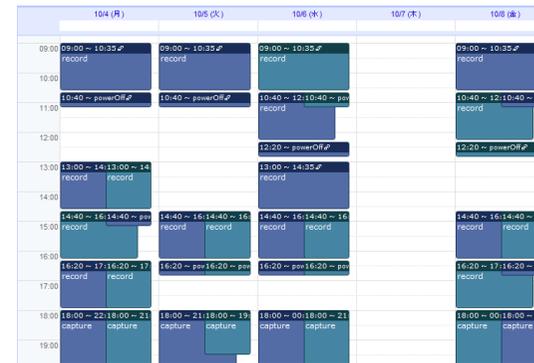


図 5 鳥取環境大学の自動収録スケジュール

Fig. 5 Recording schedule at Tottori



図 6 講義ビデオ解析範囲指定マスク

Fig. 6 Mask for video analysis

コマの自動収録を行う。熊本・鳥取の収録を合わせると毎週水曜日が最も収録量が多く、1日に 8 コマ収録される。2010 年度後期初めの一ヶ月間 (2010 年 9 月 24 日から 2010 年 10 月 29 日) における収録結果を表 3 に示す。

### 6.2 鳥取環境大学に設置した自動収録システムの運用について

#### 6.2.1 後期開講前のシステム運用準備

今回は自動収録システムを 2 つの講義室に設置したが、昨年度の講義室の割り当てのままでは収録できない科目があった。そこで収録対象科目の講義室を調整し、収録対象となる講義を全て自動収録できるように後期開講科目の調整を行った。また、後期の講義が始まる前にカメラアングルの調整・試験撮影を行い、システムの動作確認ならびに講義ビデオ解析範囲指定マスクの作成・登録を行っている (図 6)。

鳥取から熊本に収録素材の転送を試験的に行ったところ、一方の講義室からのファイル転送に想定以上に時間がかかることが判明した。通常なら 4MBytes/sec 程度の速度が出るは



図 7 スライド解説時の立ち位置の例

Fig. 7 Standing positions in explaining slides

ずが平均して 1MBytes/sec 未満の速度しか出ておらず、鳥取環境大学の学内ネットワークで何らかの通信障害が起きている状況であった。幸い、障害が起きたのが収録数の少ない方の講義室であったため、1 日分の収録データを翌朝までに熊本側に転送することは可能であった。そこで、日中は収録データの転送を行わないという当初予定通りの運用を行うことにし、両講義室とも収録データの転送を 18 時過ぎに開始するように設定した。また、熊本への素材転送の際に対外接続回線の帯域を占有してしまわないよう、ファイル転送の帯域を 2MBytes/sec に制限した。

### 6.2.2 後学期開講後のシステム運用状況

後学期開始後は実際の講義開講状況に応じて撮影スケジュール・撮影科目情報の更新を行う必要がある。鳥取環境大学情報システム学科では毎週定例の学科会議を開催しており、翌週の撮影スケジュールを学科会議の場で確認することとした。撮影スケジュールについては Google カレンダーを直接更新しているが、撮影科目情報については現在のところメールで鳥取から撮影情報を Excel の定型書式で送ってもらい、熊本側でビデオ加工サーバに登録している。撮影情報の登録が遅れても素材の加工自体は自動的に進むため、今のところこのやり方で支障は生じていない。

自動生成された仮想カメラワークつき講義ビデオの画質は、ホワイトボード・プロジェクタスクリーンともに十分に文字を読むことができる。カメラワークについては、プロジェクターを利用する一部の講義で講義の進行とカメラワークが合っていなかった。現在用いている仮想カメラワークのアルゴリズムでは、プロジェクタスクリーンの変化を検出するとカメラの視点を教員からスクリーンに切り替えるようにしているが、教員によってはスクリーンから遠く離れた場所からスクリーンを指して解説を行うことがある(図 7)。この場合、スクリーン周辺に画像上の変化はないため、カメラの視点は教員を向いたままになる。この点は仮想カメラワークの今後の改良が必要である。

収録コマ数の多い曜日のシステム動作状況をタイムチャートで示したのが図 8 である。図

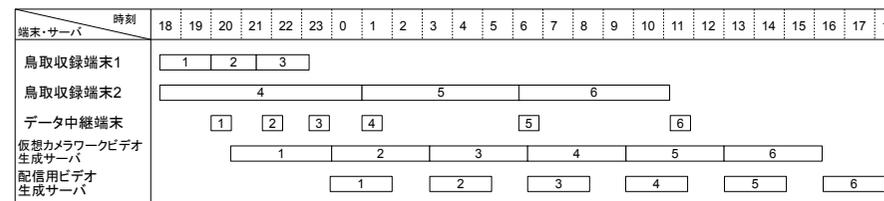


図 8 鳥取で収録された素材の加工過程タイムチャート

Fig. 8 Timechart of post processing process

中の四角に書かれた数字は収録された講義の番号を表しており、鳥取からデータの転送が開始され、配信用ビデオの出力が完了するまでの各端末・サーバの稼働状況を時間軸に沿って並べている。この図に示した例では 18 時過ぎからデータの転送が開始され、最初のビデオの加工が 20 時半頃に開始されている。その後、約 3 時間起きに仮想カメラワークを施した配信用講義ビデオが生成され、翌日の 18 時過ぎに 6 コマ分の素材加工が完了している。最初の講義ビデオの加工が始まって以降は仮想カメラワークビデオ生成サーバの処理が途切れることなく、サーバ資源が有効に活用されていることが分かる。また、通信障害のために一方の収録端末からのファイル転送速度が遅くなっているが、先に届いた素材を加工するためにサーバがフル稼働しており、配信用ビデオの生成が完了する時間に影響がないことも分かる。

### 6.3 教員・学生の反応

収録される教員の側に手動撮影から自動撮影に切り替わったことによる変化を尋ねたところ、違和感は全くなく、撮影スタッフとして学生を雇用していた頃の負担を考えると、運用の負担は限りなくゼロになったとのことである。

なお、以前の学生スタッフによる撮影では収録のたびにハンディカム用の無線小型マイクを教員に手渡していたが、今回の自動収録実施にあたり講義室マイクの音声を録音するように変更した。この変更の影響で自動収録を始めてしばらくの間、普段マイクを使わずに話す教員の講義では講義音声は収録されていないことがあった。

仮想カメラワークによって生成されたビデオについて学生に感想をたずねたところ、次のような声が得られた。

- 画質について
  - 「手動で収録していたビデオに比べて映像が明るくなり多少良くなった」
  - 「ホワイトボードが見やすくなったが少し暗い」

「映像が明るくなったが、明るすぎて講義スライドの字が見えないものがある」

「部屋の電気を全て消した際のスクリーンが非常に見づらい」

「カメラのズームがないので、小さい字で書かれた板書が読めないことがある」

● カメラワークについて

「手動での撮影と比べ、カメラが講師に追従して動くようになったのでどこについて説明しているかが分かりやすくなった」

「カメラの視点が移動するのでホワイトボードが見たいときに見られないことがある」

「スクリーンを指して説明している場面で、カメラ視点がスクリーンに切り替わっていない場合がある」

画質については画面の明るさに関する指摘が多く、ビデオ加工の段階で露出補正が必要と思われる。カメラワークについては 6.2.2 節で述べた内容と同様の指摘であり、教員の講義スタイルを反映させたアルゴリズムに改良が必要である。画質・仮想カメラワークともに改善の余地はあるものの教員・学生から大きな問題点の指摘はなく、学生スタッフによる有人収録の代替としては現状でもうまく機能していると考えられる。

## 7. 今後の課題

この節では本システムを用いた遠隔講義収録を本格的に行うにあたって解決すべき今後の課題について述べる。

まず 6.3 節で紹介した学生の声にあるように、仮想カメラワークの改良を行うことが挙げられる。スクリーンから離れた位置で説明を行う教員に対しては、講師の顔の向きや身振りにもとづいて注目領域を判定することで講義進行に合わせたカメラワークを生成できると考えられる。

次に、ビデオ加工の粒度を細かくすることでビデオ加工の待ち時間を短縮することが挙げられる。現在のシステム実装では収録 1 回分のデータが届いてから処理を開始するようにしているため、データが届き始めてから実際に処理を開始するまでに 1 時間以上も待ち時間がある。ハンディカムで収録された AVCHD データは元々 2GB の小クリップに分割されているため、収録の単位でなくクリップ単位で素材の転送・加工を行うようにすれば最初の収録データがビデオ加工サーバに届くまでの待ち時間を約 1/5 削減することが可能である。

最後に、より大規模な収録を行うためにクラウドサーバを活用することが挙げられる。今回、熊本-鳥取間という通信遅延の大きい環境で問題なく動作することが確認できたことから、Amazon 等の国外にあるクラウドサーバをビデオ加工サーバに用いても支障なく運用

できるものと思われる。

## 8. まとめ

今回、講義ビデオの大規模収録を実現するために必要となるサーバ資源を組織間で共有することが可能かどうかを検証するため、著者が開発したシステムを用いて鳥取-熊本間で講義ビデオの遠隔自動収録を開始した。データ中継サーバの設置によるネットワーク・システム障害への対処、収録場所に依じた加工パラメータの自動設定、プライベート LAN 内に設置されたサーバへのデータ配信処理を実装することで、毎週 20 コマの遠隔自動講義収録が実施可能であることを確認した。教員の講義スタイルに合わせた仮想カメラワークアルゴリズムの開発、クラウドサーバを活用した処理容量の増強などが今後の課題として挙げられる。

謝辞 本研究は科研費（課題番号:21700818）の助成を受けたものである。

## 参考文献

- 1) Yokoi, T. and Fujiyoshi, H.: Virtual camerawork for generating lecture video from high resolution images, *Multimedia and Expo, 2005. ICME 2005. IEEE International Conference on*, p.4 pp. (2005).
- 2) 永井孝幸：HDD 録画型ハイビジョンカメラを用いた講義ビデオ自動撮影加工システムの開発，情報処理学会研究報告 第 11 回 CMS 研究発表会，Vol.2009-CMS-11，情報処理学会，pp.80-87 (2009).
- 3) Nagai, T.: Automated lecture recording system with AVCHD camcorder and microserver, *Proceedings of the ACM SIGUCCS fall conference on User services conference*, St. Louis, Missouri, USA, ACM, pp.47-54 (2009).
- 4) 永井孝幸：市販ハイビジョンカメラを用いた講義ビデオ撮影加工システムの運用報告，情報処理学会研究報告 第 1 回 CLE 研究発表会，Vol.2010-CLE-1，情報処理学会，pp. 1-8 (2010).
- 5) Nagai, T.: Simple lecture recording with HDV camera and virtual camerawork, *Proceedings of the 8th International Conference on Applications and Principles of Information Science*, University of the Ryukyus, Okinawa, JAPAN, pp.321-324 (2009).
- 6) 永井孝幸：日常運用可能な省力型ビデオアーカイブシステムの構築：ハンディカムによる全講義有人収録方式との連携（新しいインターネット技術の教育環境への利用/一般），電子情報通信学会技術研究報告. ET, 教育工学， Vol.106, No.583, pp.127-132 (2007-03-02).