

## メディア授業用動画配信の実施 — COVID-19 への緊急対応 —

檜垣泰彦<sup>†,††</sup> 藤本茂雄<sup>†,††</sup> 高瀬浩一<sup>†††,††</sup> 武内八重子<sup>††††,††</sup> 松本暢平<sup>††</sup>

池田晶子<sup>††††,††</sup> 清水健一<sup>†††††</sup> 岡田聡志<sup>†,††</sup>

† 千葉大学アカデミック・リンク・センター 〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町 1-33

†† 千葉大学学務部教育企画課 〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町 1-33

††† 千葉大学附属図書館 〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町 1-33

†††† 株式会社ブルーリンクシステムズ 〒102-0071 東京都千代田区富士見 1-5-5 第二大新京ビル 3 階

†† 千葉大学国際未来教育基幹スマートオフィス 〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町 1-33

E-mail: †higaki.yasuhiko@faculty.chiba-u.jp

あらまし 千葉大学では 2020 年度のメディア授業の導入を目指して準備を進めてきたが、COVID-19 の発生により、その役割は大きく変化した。データダイエットなどの学生の環境への配慮を重視する方針に沿って同時双方型を避け、オンデマンド型メディア授業に限定することとした。重要な役割を担う動画配信システムに対しては、可能な限りの設計変更・資源の増強を実施するとともに、運用による対応を行った。授業開始から 1 カ月を経て、各サーバの利用状況等から判断し、動画配信の仕組み自体の負荷には問題は発生していない。データダイエットのためのパケット節約モードについては、節約を必要とする学生の約半数がパケットを節約できており、この機能の追加は有効であったと判断できる。

キーワード 遠隔授業、ムードル、HTTP ライブストリーミング (HLS)、マルチビットレート、データダイエット、オンデマンドビデオ配信

## Video delivery for media-facilitated classes — Emergency response to COVID-19 —

Yasuhiko HIGAKI<sup>†,††</sup>, Shigeo FUJIMOTO<sup>†,††</sup>, Koichi TAKASE<sup>†††,††</sup>, Yaeko TAKEUCHI<sup>††††,††</sup>,  
Yohei MATSUMOTO<sup>††</sup>, Akiko IKEDA<sup>††††,††</sup>, Kenichi SHIMIZU<sup>†††††</sup>, and Satoshi OKADA<sup>†,††</sup>

† Academic Link Center, Chiba University 1-33 Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba-shi, 263-8522 Japan

†† Education Planning Division, Department of Student Affairs, Chiba University 263-8522 Japan

††† Chiba University Library 1-33 Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba-shi, 263-8522 Japan

†††† Blue Link Systems Co.,Ltd. Daidai Shinkyo 3F, 1-5-5 Fujimi, Chiyoda-ku, Tokyo, 102-0071 Japan

†† Smart Office, Institute for Excellence in Educational Innovation, Chiba University 263-8522 Japan

E-mail: †higaki.yasuhiko@faculty.chiba-u.jp

**Abstract** Chiba University has been preparing for the introduction of media-facilitated classes in 2020, but its role has changed significantly due to the occurrence of COVID-19. The policy was changed to focus on on-demand video distribution and to emphasize student environmental considerations such as data traffic reduction. The design was changed and resources were increased as much as possible, and the corresponding operation was performed. One month has passed since the class started, and there is no problem in the load of the video distribution system itself, considering the usage of each server. It was confirmed that the packet saving function was effectively used by the students who needed it.

**Key words** distance learning, Moodle, HTTP Live Streaming (HLS), multi bit rate, data traffic reduction, on-demand video distribution

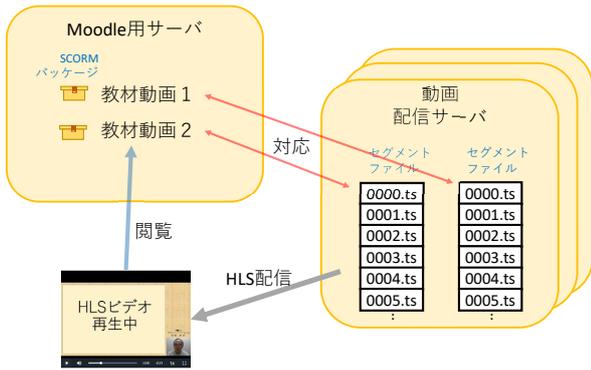


図1 MoodleにおけるSCORMパッケージによる動画配信

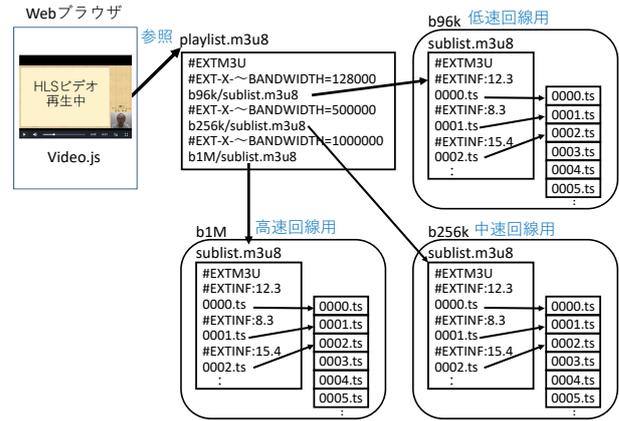


図2 マルチビットレート HLS の構成

## 1. はじめに

千葉大学は在籍学部学生数 10,547 名、大学院学生数 3,436 名、教員数 1,310 名、開講科目数約 7,000（以上 2019 年度データ）の総合大学であり、その規模は国立大学の上位に位置する [1]。2020 年度からの全員留学に絡み、メディア授業（遠隔授業）の本格導入を目指して準備を進めてきた。これは、通常の授業を基本として、メディア授業も実施できるという位置付けであったが、2020 年に入ってからの世界的 COVID-19 の広がりを受け、その位置付けは大きく変化した。令和 2 年 4 月 2 日付 学長発の「新型コロナウイルス感染拡大に伴う教務関係の対応について（第 2 報）」で第 1・第 2 タームについては授業開始を 5 月 7 日に遅らせ、8 週の授業期間を 6 週に短縮して実施、講義・演習の別を問わず、原則として、すべての授業をメディア授業により実施、学生の各キャンパスへの入構を制限することとなった。

メディア授業の実施形態としては、同時双方向型、オンデマンド型が考えられるが、本学では、学生への通信負担と、学生の学習環境<sup>(注1)</sup>に配慮し、第 1・第 2 タームにおいては、同時双方向型の授業は実施せず、オンデマンド型のみで実施する方針とした。

このように、メディア授業とその要となる動画配信システムはその役割が大きく変化し、当初の設計や構成 [2] から変更を迫られることとなった。このような状況に対して行った対応と、授業開始から 1 カ月間の運用状況とその評価について述べる。

## 2. 動画配信システム

### 2.1 構成

図 1 に動画配信システムの基本構成を示す [5]。本学では 2010 年度より全学で LMS (Learning Management System) として、Moodle [3] を用いており、この Moodle での動画利用にあたり、動画プレイヤーを SCORM [4] として実装する方式とした。動

(注1)：家族も在宅で回線を食い合う／皆が家のなかで声を出すといったような、受講環境に制約があるケースが考えられる。授業開始前の 4/21 に実施した学生へのアンケート (3,366 人回答) で、約 20 % の学生が受講場所で音声が発することが難しい旨回答している。

## パワーポイントによるビデオ教材の作成(A)

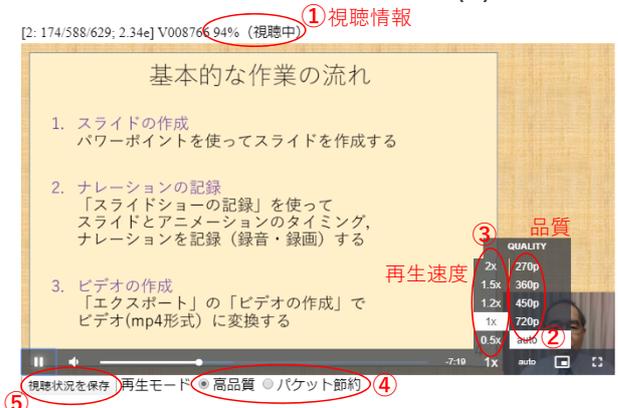


図3 Moodleにおける動画の再生（COVID-19 への対応後のもの）

画配信サーバの利用に必要な情報が含まれる SCORM パッケージを Moodle の活動として追加することで動画を利用する。また、動画の配信方式としては、HLS(HTTP Live Streaming) 方式 [6] を採用した。

### 2.2 マルチビットレート

HLS は図 2 に示すような構成の配信方式であり、mp4 形式の動画をセグメント化し、プレイリスト経由で再生する方式である。マルチビットレート構成とすることが可能で、この場合、サーバとの間の通信状況に応じて、クライアント側のプレイヤーが適切なビットレートを選択して再生する。図 3 に Moodle で動画を再生している様子を示す。本学の動画配信システムの特徴の一つとして、視聴管理が行える点が挙げられる。具体的には、すべて視聴したら Moodle にスコアとして 100 点を返す、未視聴部分にスライダーを進める“とばし再生”ができないように設定できる点である。図 3 の①が視聴情報である。③により再生速度の調整を可能とした。

### 2.3 動画の登録

Moodle で動画を利用するときの流れを図 4 に示す。授業動画を登録しようとする教師は、mp4 形式の動画を動画管理サイトにアップロードする。サイトでは FFmpeg [7] でセグメント化することによりビットレート別のセグメントファイルを作成すると同時に対応したプレイリストファイルを作成する。生成されたセグメントファイルとプレイリストファイルは動画配

表 1 当初のビットレート構成

ラベル	ビデオ			オーディオ			合計 ビットレート
	ピクセル	ビットレート	フレームレート	サンプリングレート	チャンネル数	ビットレート	
b1M	1024 × 576	1000kbps	30fps	44.1kHz / 48kHz *	2 (stereo) *	128kbps	1128kbps
b256k	1024 × 576	256kbps	30fps	44.1kHz / 48kHz *	2 (stereo) *	64kbps	320kbps
b96k	1024 × 576	96kbps	30fps	44.1kHz / 48kHz *	2 (stereo) *	48kbps	144kbps

\* 入力と同じ

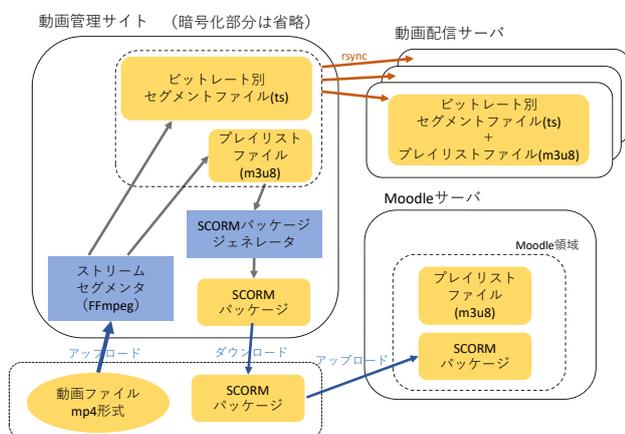


図 4 動画配信用コンテンツの変換処理

信サーバに転送され配信に備えて保存される。動画をする教師は、動画管理サイトの SCORM ジェネレータで、動画に対応する SCORM パッケージを生成しダウンロードする。その SCORM パッケージを Moodle のコースに活動として追加することで動画を利用可能となる。

### 3. 当初の設計

当初の設計における考え方は、メディア授業を利用する教員は一部であり、2023 年度までに累計 100 科目以上をメディア授業として実施することを目標としていた。この想定では、Moodle も動画配信も当面混雑する心配はないと考えており動画配信サーバも 1 台のみの構成としていた。

HLS のマルチビットレートの構成については、動画において十分な品質が得られることを優先し、かつ、電車で移動中などのモバイル環境での利用も想定 [2] して、表 1 のようなビットレート構成とした。“b1M” は通常再生に用いることを想定しており、ピクセル数が 1024 × 576、ビデオのビットレートが教材の提示に十分な画質が得られる 1000kbps、オーディオのビットレートが教師の話の内容が十分な音質でクリアに聞こえる 128kbps とし、合計 1128kbps となる。最悪の通信状況用 (“b96k”) では、ピクセル構成やフレームレートは変えないものの、ビデオのビットレートを 96kbps まで落とし、オーディオは十分なクオリティが得られる 48kbps に留めた。この場合に合計ビットレートは 144kbps である。さらにその中間に “b256k” を設けた 3 段階の構成とした。

### 4. COVID-19 への緊急対応と設計変更

全ての授業をメディア授業として実施することが決まり、

表 2 第 1 ターム時限別受講者数 (2019 年度)

	月曜	火曜	水曜	木曜	金曜
1 時限	3,550 人	3,167 人	3,768 人	4,306 人	3,373 人
2 時限	5,443 人	5,839 人	6,110 人	5,909 人	5,686 人
3 時限	5,381 人	6,252 人	5,410 人	4,687 人	5,428 人
4 時限	5,132 人	5,198 人	4,574 人	4,215 人	4,158 人
5 時限	3,077 人	2,354 人	3,145 人	2,315 人	1,786 人

LMS である Moodle や動画配信サーバ、動画管理サイトの増強が必要となった。ハードウェアの増強でカバーできないと思われる部分については、運用でのカバーが検討された。表 2 に示すように、教務事務システムの前年度 (2019 年度) のデータから各時限の受講者数を求めたところ、第 1 タームには 2,600 の授業が開講され、火曜 3 時限の受講生数が最大であり、6,252 人であったことが分かった。これより、今年度の授業開始時における最大アクセス人数を 7,000 と想定して準備を行った。

#### 4.1 学生の通信負担の低減

全ての授業をメディア授業として実施するにあたり、システムへの負荷、学生への通信負担の 2 点が問題となった。FTTH 等の安定した大容量の通信環境を持っている学生は問題ないが、モバイルルータやテザリングによる通信に頼っている学生の packets 消費への配慮も必要である。授業開始前の 4 月 21 日に実施した学生へのアンケート (3,366 人回答) で、約 14 % が通信量が気になる環境で受講すると回答したことをふまえ、通信負担を軽減するためのデータダイエットにも着手した。

##### 4.1.1 パケット節約モードの追加

パケット消費が気になる学生への対応として、通信環境が良くてもあえて品質を下げたパケット消費を節約するための “パケット節約” モード (図 3 の④) を追加した。また、同図②に示すように学生が明示的に品質を選択することができるようにした。

##### 4.1.2 マルチビットレート構成の設計変更

極力軽い動画とするため、HLS のマルチビットレート構成の設計変更を行った。表 3 に具体的な構成を示す。最低品質である “b100k” では、ビデオとオーディオの合計ビットレートを、いわゆる “パケ死” 状態でも視聴が可能な程度 (100kbps) まで下げた。ピクセル構成は思い切って小さく (480 × 270) した。フレームレートも 10fps に下げ、ビデオのビットレートを 72kbps とした。さらに、オーディオにおいても、ビットレートを 28kbps まで下げ、チャンネル数を 1 (モノラル) とした。サンプリングレートも電話品質 (8kHz) に下げた。図 5 にこのビットレートで再生時のスクリーンショットを示す。スライド

表 3 パケット節約指向のビットレート構成

ラベル			ビデオ			オーディオ			合計
	H	L	ピクセル	ビットレート	フレームレート	サンプリングレート	チャンネル数	ビットレート	ビットレート
b900k	○	—	1280 × 720	772kbps	30fps	44.1kHz / 48kHz *	2 (stereo) *	128kbps	900kbps
b300k	○	—	800 × 450	236kbps	30fps	44.1kHz / 48kHz *	2 (stereo) *	64kbps	300kbps
b150k	○	○	640 × 360	102kbps	15fps	8kHz	1 (mono)	48kbps	150kbps
b100k	○	○	480 × 270	72kbps	10fps	8kHz	1 (mono)	28kbps	100kbps

H: 「高品質」, L: 「パケット節約」, \* 入力と同じ

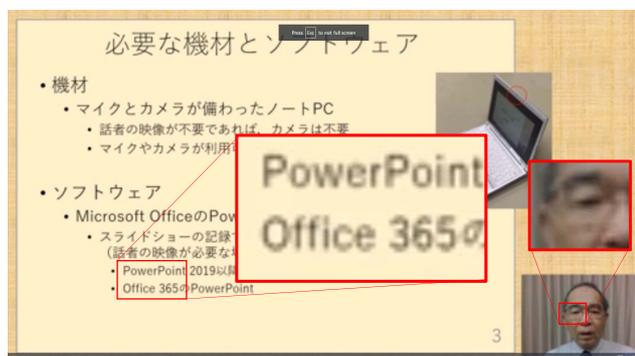


図 5 最低品質 (b100k) での再生

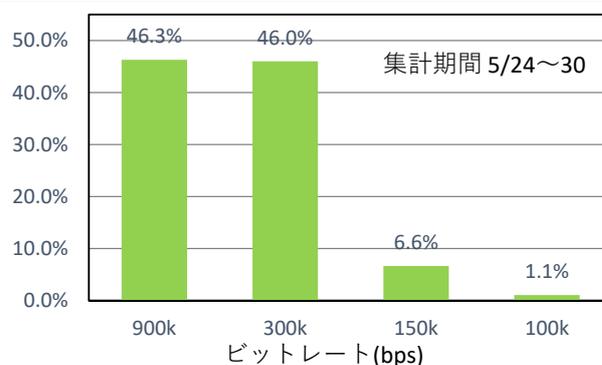


図 6 動画における画質の選択状況

の小さめの文字が読める程度である。

表 3 の“L”の欄が“パケット節約”モードにおけるビットレート構成である。通常は、“b100k”よりも高品質な“b150k”で再生される。“高品質”モードでは、“H”のカラムの構成となり、全画面再生における最高画質では、ビデオは 1280 × 720 で 772kbps、オーディオもビットレート 128kbps の 2 チャンネル (stereo) で再生される。ページ内再生では“b300k”が使われ、通信状況が悪い場合は、“b150k”や“b100k”に落ちて再生される。

#### 4.1.3 オーディオのみの HLS

さらに、パケットを節約する目的で、音声のみによる配信も可能なようにした。基本的に HLS 配信はオーディオだけでも可能であり、オーディオだけの配信であることがわかるようにデザインを変更する等の最小限の変更で対応した。

#### 4.2 システムの増強

表 4 に各サーバの諸元を示す。

##### 4.2.1 動画配信サーバ

1 台構成の予定であったが、負荷を分散させる目的で、これを複数台用意し、DNS によるラウンドロビン設定とすることとした。急遽安価なサーバ用ハードウェア 2 台を調達し、合計 3 台構成とした。授業動画はこの配信サーバに蓄積されるため、大容量のディスクが必要である。

##### 4.2.2 動画管理サイト

教員が利用するサイトであり、授業前日に多数の変換ジョブが集中する可能性が考えられる。当初の設計では、変換処理を Web ページ表示時にフォアグラウンドで実行する CGI として実装していたが、操作性の問題と、混雑時に処理が終わらず中断してしまう可能性があるため、変換処理をキューとして登録し、バックグラウンドで順次処理する方式に変更した。

十分なスループットで変換処理が行われるよう、仮想 CPU の数とメモリの増強を行った。動画はセグメント化されると、配信サーバに転送され、このサイトには残らないため、ディスクは主に変換時の一時保存用として使用され、特に大容量である必要はない。

#### 4.3 運用によるカバー

可能な限りのシステム増強を行ったものの、メディア授業のベースとなる Moodle の負荷が高くなることが予想されたため、運用によるカバーとして、混雑時の利用回避、Microsoft 365 や G Suite の併用を呼びかけた。4 月 13 日発の「新型コロナウイルス感染拡大に伴う千葉大学におけるメディア授業の実施について (第 2 報)」において、Moodle へのアクセス分散のため“緩やかな時間管理”の依頼、Microsoft 365 を使用したオンデマンド型の授業の併用を依頼した。5 月 11 日発の同第 6 報において、学部新 1 年生および編入生に限定した G Suite の導入と履修者が新 1 年生のみで構成される授業の S Suite への移行について案内した。

Moodle 以外での動画の配信が必要になったため、SCORM パッケージ経由でなくても配信ができるように、いわゆる“限定公開 URL”の機能を追加した。

## 5. 評価

ここで行った緊急対応について、授業開始から 1 カ月時点での評価を述べる。

#### 5.1 ビットレート構成の変更

図 6 に、5 月 24 日からの 1 週間において配信された動画のセグメントをビットレート別に集計した結果を示す。1 セグメントは約 10 秒であり、各セグメントについて、どのビットレートであるかを Web サーバのログから集計したものである。各

表 4 各サーバの諸元

サーバ	OS	仕様諸元
動画管理サイト	RHEL 7.6	vCPU 12(4), メモリ 32(16)GB, HDD 100GB (VMware ESXi 6.5.0, Xeon E5-2697v2)
動画配信サーバ 1	RHEL 7.6	vCPU 4(2), メモリ 32(8)GB, HDD 2T(500G)B (VMware ESXi 6.5.0, Xeon E5-2697v2)
動画配信サーバ 2	FreeBSD 11.3R	NEC Express5800/T110j Xeon E-2124, メモリ 32GB, HDD 2TB mirror
動画配信サーバ 3	FreeBSD 11.3R	NEC Express5800/T110j Xeon E-2124, メモリ 32GB, HDD 2TB mirror

( ) 内はシステム増強前の値。動画配信サーバ 2, 動画配信サーバ 3 はシステム増強で増設。

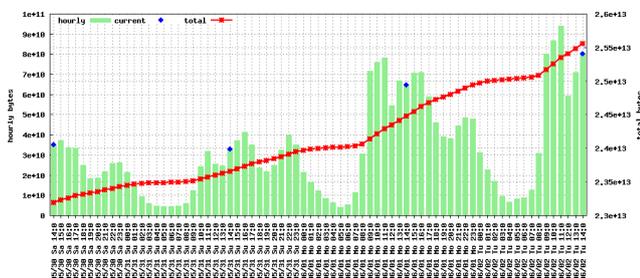


図 7 動画配信サーバ配信バイト数 (時間毎)

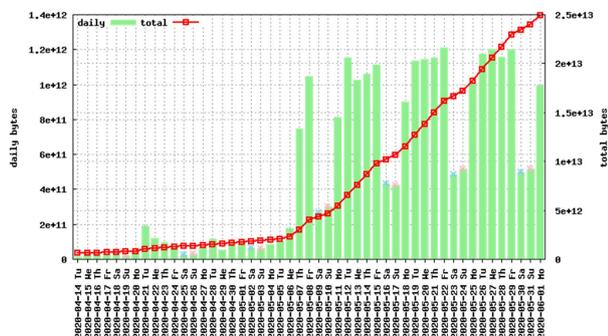


図 8 動画配信サーバ配信バイト数 (日毎)

ビットレートでどのくらいの長さ再生されたかに相当する。これによると 92% 以上が“高品質”モードで, 7.7% が“パケット節約”モードで再生されていると推測できる。

授業開始前に実施した学生へのアンケートでは, 約 14% が通信量が気になる環境で受講していることから考えると, このような学生の約半数がこの機能を活用してパケットを節約できたと推測できる。十分な通信環境が整っていない学生も平等にメディア授業を受講できるよう対応すべきであり, パケット節約モードの追加は有効であったと判断できる。

## 5.2 動画配信サーバ

増設した動画配信サーバの 1 台が, メモリのエラーのため停止するアクシデントが発生した。急遽, 残りの 2 台構成で運用を行い, 不良メモリを取り外して復旧させた後, 運用状態に戻した。配信サーバは 3 台構成であるため, 予め計画されたサーバのメンテナンスではラウンドロビンから外したうえで, メンテナンスを行い, 終了後に他の配信サーバからデータを同期したうえでラウンドロビンに再度追加することで, 運用を停止することなく作業が可能である。

図 7 に動画配信サーバにおける配信バイト数 (時間単位) のグラフ, 図 8 に同じく 1 日単位のグラフを示す。棒グラフが時間単位での転送バイト数であり, 折れ線グラフは運用開始からの積算値である。図 7 の範囲では 6/2(火)の午前 11 時台が

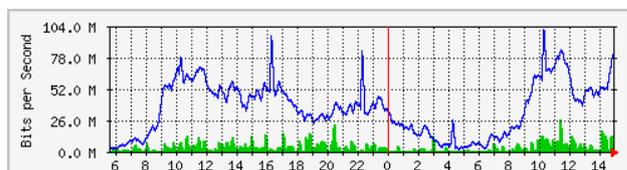


図 9 動画配信サーバの転送量 (6/1~2)

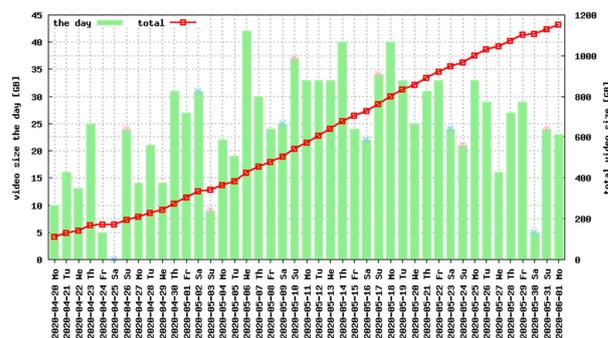


図 10 登録動画容量

最大で, 1 時間あたり 94GB 程度となっている。図 8 から, 1 日としての配信バイト数としては 5/22(金)の 1.2TB が最大となっている。また, 土日の配信バイト数はその半分程度となっている。図 9 は, 3 台の配信サーバのうちの 1 台のネットワークインタフェースにおける転送量のグラフである。青の折れ線が出力, 緑が入力方向である。図 7 の右半分に相当する。ラウンドロビンでバランスをとっているため, ほかの 2 台のグラフとほぼ同じである。HLS による動画配信では, 動画配信サーバの役割はセグメントファイルを HTTP で送信するシンプルな Web サーバである。そのため, サーバの負荷よりもネットワークインタフェースの通信容量がボトルネックとなると考えられる。ギガビットインタフェースに対して, 78Mbps という値は十分に余裕のある状況であると言える。運用に先立って配信サーバ 1 台構成で負荷試験を実施したときには 500Mbps を記録した。

図 10 は登録された動画が配信サーバにおいて占める容量である。HLS のための変換後に占める割合であり, マルチビットのセグメントの合計値である。授業開始日前日の 5/6(水)に 42GB が登録されているのがこの範囲での最大値となっている。5 月の登録動画が占めるサイズの増加率は 200GB/週程度となっている。6 月 1 日時点で 1.2TB 程度に達している。当初用意した配信サーバのディスク容量は 2TB であり, 6 月初めの段階でシステム等も含めて約 70% が使用されており, 不足することが懸念される。現状, 2TB のミラーリング構成のものを,

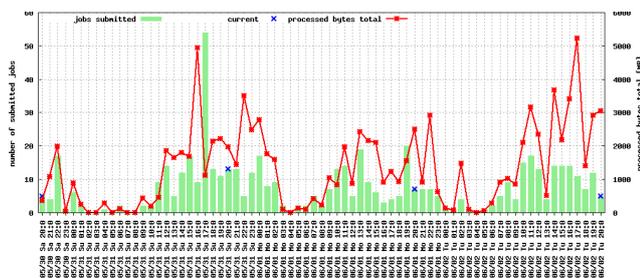


図 11 HLS 動画管理サイト混雑状況

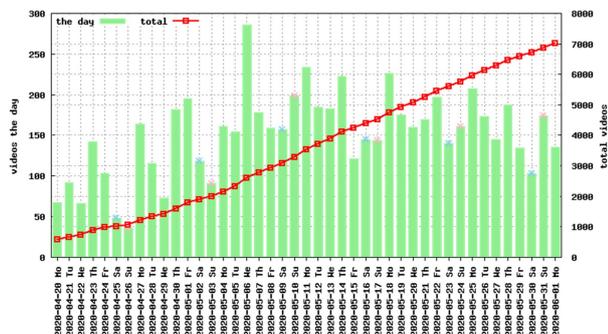


図 12 HLS 動画管理サイト登録動画数

12TB のシングルパリティ構成に増強して対応する予定である。

### 5.3 動画管理サイト

6月10日現在、動画管理サイトへの登録者数は570名である。図11に動画管理サイトの混雑状況を示す。緑の棒グラフはその時間帯に投入された変換処理の本数である。このグラフの範囲（土曜夜から火曜夜）では5/31(日)17時台が最多で53本となっている。赤の折れ線グラフは、その時間帯で処理された動画のバイト数（アップロードされたサイズを処理時間帯で案分したもの）であり、サーバの負荷と深い関連がある。6/2(火)17時台はこのピークを記録している。長時間の動画変換を複数受け付けて時間帯にまたがって処理されており、かつ、その動画の品質が高い（サイズが大きい）ものが処理されているような状況であると思われる。このような時間帯では処理が終わるまで1時間以上を要することとなり、変換処理のフォアグラウンドからキュー方式によるバックグラウンドへの変更は効果的であったと判断できる。混雑により長時間に及んでしまう変換処理の中断を防止できる。

図12は、登録動画数の推移である。緑の棒グラフはその日の登録動画数、赤の折れ線は登録されている動画の本数である。授業開始日前日の5/6(水)に280本ほどの動画が登録されている。このグラフの5月においては、1週間あたり1,200本程度ペースで動画が登録されている。6月1日時点で約7,000本の動画が登録されている。

### 5.4 視聴管理

実際の運用において、一部の環境（OSやブラウザ）で視聴情報が保存されない状況が発生した。その対策として、図3の⑤に示すような“視聴情報を保存”ボタンを配置し、学生が明示的に保存できるように対応した。学生の環境は多様であり、それらすべてに対応できるようなHLSプレイヤー周りのコー

ディングやテストは非常に難しい。

### 5.5 動画収録方法

当初の計画では、授業動画の収録方法として、教室でのビデオカメラ撮影、ミニスタジオでの収録なども行えるように準備したが、教員も含めて原則キャンパスへの入構ができなくなったため、ほとんどがパワーポイントのビデオエクスポート機能を用いて作成する結果となった。

### 5.6 オーディオ教材の利用

6月1日時点で、ビデオを含まないオーディオのみの教材は約800本となっており、これは全体の1割強である。

### 5.7 内製による開発

本システムは内製したものである。そのため、今回の緊急事態を受けてのシステム改修については、小回りが利き、即時に対応できた点も多かった。その反面、このシステム自体の運用については、特定の個人だけが担当しているという不安がある。この点を解消するため、これまでの経緯を知っている業者によるサポート環境の構築を模索している。

## 6. まとめ

COVID-19発生により、当初計画していた“メディア授業”に対して内容・数ともに大きく変わることとなった。第1・第2タームについては、すべての授業をオンデマンドを中心としたメディア授業として実施することとなり、当初の設計を変更し、動画配信におけるデータダイエットのための動画配信パラメータの変更、パケット節約モードの追加、サーバのリソースの増強に加え、運用でカバーすることにより対応した。

その結果、6月に入った時点で、動画管理サイトは極端な混雑もなく変換処理を行えている。動画配信サーバも十分な余裕をもって配信を行えている。パケット節約モードについては、通信量に制限がある学生の約半数がこの機能を活用してパケットを節約できたと推測できる。十分な通信環境が整っていない学生も平等にメディア授業を受講できるよう対応すべきであり、パケット節約モードの追加は有効であったと判断できる。

### 文 献

- [1] 千葉大学公式サイト, <http://www.chiba-u.jp/> (2020年6月3日閲覧)
- [2] 原田明成, 張徳鵬, 檜垣泰彦, “メディア授業に適した授業動画配信方式の検討,” 信学技報, vol. 119, no. 477, LOIS2019-67, pp. 63-67, 2020年3月.
- [3] Moodle - Open-source learning platform, <https://moodle.org/> (2020年6月3日閲覧)
- [4] Advanced Distributed Learning Initiative, SCORM 1.2, <https://www.adlnet.gov/projects/scorm-1-2/> (2020年6月3日閲覧)
- [5] 檜垣泰彦, 池田晶子, 大木勇人, 藤本茂雄: eラーニングを指向した Moodle 動画配信方式, MoodleMoot Japan 2020, 2020-02-28 <https://moodlejapan.org/mod/data/view.php?id=36&rid=2071> (2020年6月3日閲覧)
- [6] HTTP Live Streaming, IETF, rfc8216, August 2017 <https://tools.ietf.org/html/rfc8216> (2020年6月3日閲覧)
- [7] FFmpeg A complete, cross-platform solution to record, convert and stream audio and video., <https://ffmpeg.org/> (2020年6月3日閲覧)