

e ラーニングを指向した Moodle 動画配信システムの設計

清水 健一[†] 檜垣 泰彦^{††,†††} 藤本 茂雄^{††} 須貝 康雄^{†††}

[†] 千葉大学大学院工学研究科建築・都市科学専攻 〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町 1-33

^{††} 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

^{†††} 千葉大学大学院工学研究院 〒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 e ラーニングシステムである Moodle 上で利用可能な動画配信システムの設計開発を行った。システムは AES 暗号化による HLS (Http Live Streaming) 方式を採用し、効率的な同時アクセス性、大学での講義に必要なコンテンツの保護機能、視聴管理機能、回線状況の悪いモバイル環境での再生、動画コンテンツ管理機能を備え、2020 年新型コロナウイルス感染症の拡大による外出自粛要請下において、学部学生 10,547 名、大学院生 3,436 人、開講科目数約 7,000 の千葉大学のオンラインメディア授業の中心システムとして利用され、その実用性および信頼性が確認された。

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、SCORM

Design of e-learning oriented video streaming system

Kenichi SHIMIZU[†], Yasuhiko HIGAKI^{††,†††}, Shigeo FUJIMOTO^{††}, and Yasuo SUGAI^{†††}

[†], Chiba Universityhskip1em 1-33 Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba-shi, 263-8522 Japan

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

^{†††}, Chiba Universityhskip1em 1-33 Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba-shi, 263-8522 Japan

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

Abstract A practical on-demand video delivery system on Moodle was designed and developed for e-learning system for Chiba University. It was used as a main system of the distance learning of Chiba University under the self-restraint request by COVID-19 pandemic, and the practicality and reliability were confirmed. The video delivery system using HLS (Http Live Streaming) protocol with AES data encryption. An efficient delivery by a multi-bit rate was achieved in the cheap mobile communication environment with the concurrent network conditions.

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

1. はじめに

本稿では、著者が開発した動画配信の仕組みについて述べる。この仕組みは、LMS (Learning Management System) のひとつである Moodle [1] での使用を念頭に設定されているが、Moodle に限らずその他の LMS での利用も可能なように設定されている。本稿は [2] における口頭発表内容についてさらに詳細を述べるとともにその後の設計変更を反映し、特に技術資料としての位置づけを重視した。

2. 要件

Moodle で利用する e ラーニング向け動画配信方式の要件と

して、以下を設定する。

千葉大学における全ての授業をオンラインで行うため、前提として学部学生 10,547 名、大学院生 3,436 人、開講科目数約 7,000 とする。授業が重なった場合に動画再生ができないなどの問題が懸念されるため、動画配信サーバはスケールアウトにより増強可能であることを前提とし、各種要件については以下を設定する。

2.1 受講者だけに限定した配信

Moodle で使用する場合には、Moodle のコースの受講生だけが再生できる必要がある。Moodle での利用を中心に設計するが、他の LMS 等からも利用者を限定して利用できるように配慮する。

アカデミック・リンク・センター開所式

[2: 34/46/78; 2.34e] V001692 58% (視聴中)



図 1 Moodle における HLS 動画再生の様子

2.2 動画のダウンロード禁止

コンテンツの勝手な再利用を防ぐため、受講生が動画をダウンロード保存できないようにする。

2.3 視聴管理

先飛ばし再生のようなごまかし視聴を禁止する。また、動画を見たことを Moodle から確認できる。

2.4 モバイル環境・データダイエットへの対応

スマートフォンやタブレットによる移動中の視聴や、学生の通信負担に配慮した設計とする。

2.5 Moodle 本体との独立性

Moodle 本体のバージョンアップ（進化）に影響されない。

2.6 動画コンテンツの管理

教員自身による動画の登録、削除が行える。管理者によるユーザ間も含む動画の移動、登録動画の容量制限が行える。教材動画を複数の教員やコースで共有できる。

3. 設 計

3.1 動画配信の基本形

図 1 に Moodle で動画を再生している様子を示す。この配信方式の基本形を図 2 に示す。HLS (HTTP Live Streaming) による動画配信方式 [3] を採っている。入力となる動画 (input.mp4) を ffmpeg [4] を用いて複数の .ts ファイルに分割 (セグメント化) すると同時に、対応するプレイリストファイル (playlist.m3u8) を生成する。プレイリストファイル中には、セグメントファイルの位置情報とそのセグメントに収容されている動画 (部分) の長さ (秒) が記述されている。ffmpeg では、ビデオの変換オプションとして、ビデオコーデック (-vcodec), ビットレート (-b:v), フレームレート (-r), ピクセルサイズ (-s) を、オーディオの変換オプションとして、コーデック (-acodec), ビットレート (-b:a) を、セグメント化オプションとして、プレイリスト名 playlist.m3u8, セグメントファイル名 %04d.ts を指定している。Edge や iOS, Android によるモバイルデバイスでは、このプレイリストの URL を指定することで HLS 形式をネイティブ再生できるが、その他のブラウザでは HTML5

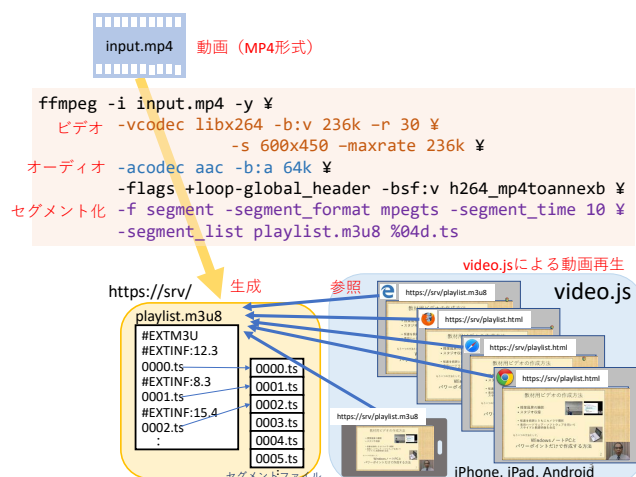


図 2 HLS 動画配信基本形

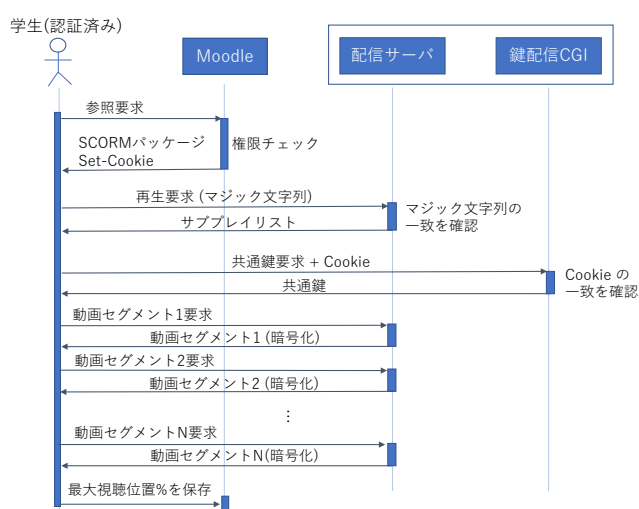


図 3 HLS 動画再生のフロー

プレイヤーフレームワークである Video.js [5] を用いて再生できる。Moodle との連携は e ラーニング教材用の仕組みである SCORM [6] を用いて実現している。

3.2 動画再生のフロー

図 3 に Moodle と連携した動画再生のフローを示す。Moodle により認証済みの学生が動画再生を要求すると、Moodle 上での参照権限が確認され、権限を有する場合は動画の SCORM パッケージが参照可能となる。SCORM パッケージ内で Cookie を発行し、ブラウザに Cookie をセットする。SCORM パッケージ内には配信サーバ上のサブプレイリストの URL が記載されており、これを利用してサブプレイリストを取得する。更にサブプレイリスト内には暗号化されたセグメントファイルを復号するための共通鍵配信 CGI への URL が記載されており、鍵配信 CGI に鍵の取得要求を発行する。その際 SCORM パッケージで設定された Cookie を CGI に送信することにより、CGI が許可されたリクエストであることを確認し鍵を発行する。その後セグメント化された動画を順次取得し、プレイヤー上で共通鍵を利用して復号されたセグメントファイルを利用して動画再生を行う。動画再生を終了した場合、システムは動画の最大

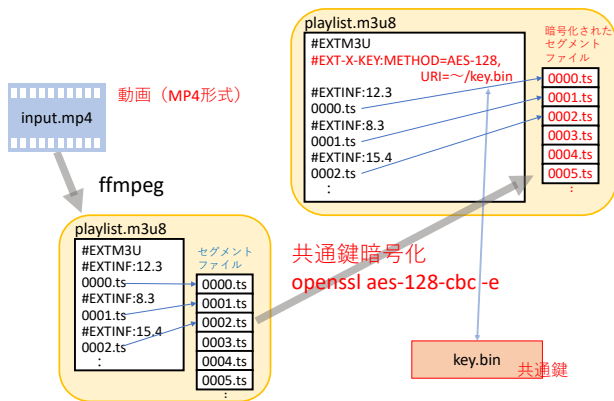


図 4 HLS の AES 共通鍵による暗号化

視聴位置を LMS API で Moodle に渡すことによって動画視聴結果 (再生 %) が記録される。

3.3 動画配信の構成

図 14 に Moodle による HLS 動画配信の構成を示す。左半分 (A) が動画配信サーバで、右半分 (B) が Moodle サーバである。動画配信サーバ中にプレイリストファイルとセグメントファイルが格納されている。

Moodle サーバでは、授業のコース内に SCORM パッケージが置かれ、その中に ffmpeg が生成したプレイリスト (サブプレイリスト) へのポイントとなるマスタープレイリスト (playlist.m3u8) が配置されている (①^(注1))。また、SCORM パッケージ中の HTML ファイルから video.js を利用した動画プレイヤー (scorm-hlsPlayer.js) を参照している (②)。

3.4 受講者だけに限定した配信

授業のコース内に “Moodle の活動” として追加した SCORM パッケージにアクセスできるのは、そのコースの登録学生=受講者だけである。SCORM 中のマスタープレイリストに記述された、動画配信サーバ中の対応するプレイリスト (サブプレイリスト) の URL の一部にはマジック文字列 (例では “2KCeowt4”) が含まれており (③)、受講者に限定した動画再生を実現できる。

さらに、この文字列が漏洩したばあいの対策として、HLS のセグメントファイル暗号化オプションを利用している。図 4 に示すように、各セグメントファイルを AES 共通鍵暗号化で暗号化し、その共通鍵の所在をサブプレイリスト中で指定することができる。図 14 の左下部分が共通鍵を保持している部分であり、これを動画配信サーバ内に置いている^(注2)。ts ファイルの所在が漏洩しても、この共通鍵の所在がわからなければ、暗号化されているため動画を再生することはできない。共通鍵の所在はサブプレイリスト中に記述されているため、サブプレイリストの所在がわかれば、動画を再生できてしまう。

そこで、さらに共通鍵の所在を隠蔽する仕組みを設けている。SCORM パッケージ中で別のマジック文字列 (例では “FgFB90nsE”) の値を Cookie に設定し、動画配信サーバの共

```

this.on('timeupdate', function() {
  curr = this.currentTime();
  if(curr - maxp > 2) {
    this.currentTime(maxp);
    curr = maxp;
    last = maxp;
  } else {
    last = curr;
  }
  if (maxp < last) {
    maxp = last;
  }
});

```

先送り禁止
再生位置更新
最大視聴位置更新

図 5 先送り再生 (飛ばし再生) の禁止

通鍵配信部分の CGI(cookie.cgi) でそれを受け取り (④)、実際の鍵の在処を特定するようにしている。この CGI はサブプレイリストの共通鍵指定に対応している (⑤)。実際の共通鍵は別の場所にファイルとして格納されており、それを CGI から取り出して利用する (⑥)。つまり、Moodle のコース中の SCORM で設定する Cookie が通る位置関係でないと、AES 共通鍵は実際には渡らない。Moodle サーバから動画配信サーバに Cookie を通すため、CORS の設定が必要である (⑦⑧)。

3.5 動画のダウンロード禁止

HLS 形式の動画のダウンロードは、ffmpeg 等のツールでプレイリストファイルを指定することで可能である。本方式では、共通鍵の取得に Moodle サーバとの間で Cookie の受け渡しを行うように設計したため、動画のダウンロードをより困難としている。通常のダウンロードツールは、ブラウザ外で動作するため、Cookie が渡らずダウンロードできない結果となる。

3.6 視聴管理

動画教材を SCORM として実装したため、SCORM の LMS API 機能を利用して、教材側から Moodle へ視聴情報 (スコア=動画の何 % を視聴済みか) を渡すことができる。図 5 に先送り再生 (飛ばし再生) を禁止するコードを示す。これにより、プレイヤーのスライダーで動画を先送りしようとすると最大視聴位置に制限するとともに最大視聴位置以下では自由に再生位置を設定できる。この最大視聴位置からスコアを計算して Moodle に渡す。

3.7 モバイル環境・データダイエットへの対応

モバイル環境のためには、通信状況に応じてビットレートを変えらることのできるマルチビットレート構成が有効である [7]。また、意図的に低いビットレートを選べるようにすることで、パケットを節約するための “データダイエット” に対応できる。HLS では異なるビットレートのセグメントファイル群を用意することで、マルチビットレートへの対応が可能である。マスタープレイリスト中でビットレートに応じたサブプレイリストへの振り分けを記述できる (①)。

3.8 Moodle 本体との独立性

Moodle で HLS 動画を利用する方法としては、Moodle 本体に組み込む、プラグインとして実装する、SCORM パッケージとして実装する等の方法が考えられる。ここで採用した、SCORM パッケージとして実装する方法は、Moodle との独立性が高く、Moodle の進化の影響を受けにくいのが特徴である。

(注1)：以下、丸囲み数字は図 14 内に対応する

(注2)：[2] ではこれを Moodle サーバ内に配置していたが、複数の Moodle 間で動画を共用できるようにするため設計変更した。

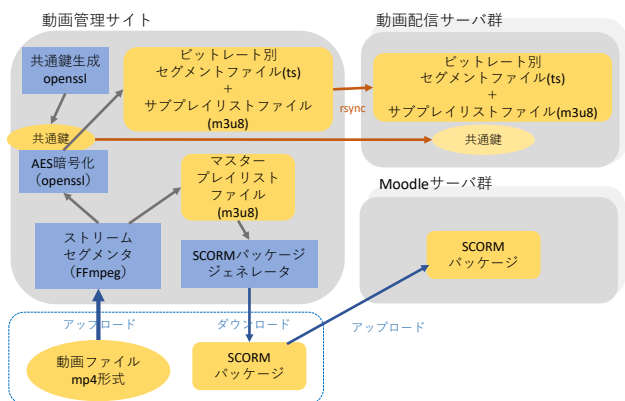


図 6 HLS 動画配信用コンテンツの流れ

その反面、動画を利用する Moodle とは別のサイト（動画管理サイト）に動画をアップロードして、SCORM パッケージを Moodle に追加して利用するという手順が利用者にとってわかりにくいと感じる場合がある。

SCORM パッケージの利点としては、誰が作成した SCORM パッケージでも利用できる、Moodle のアカウントとは独立に管理できる点が上げられる。動画教材の登録者と利用者ば別で構わないため、動画教材の共有に便利である。複数の授業で同じ動画を利用しても実態（セグメントファイル）は一つであるうえ視聴管理は別々にできる。

3.9 動画コンテンツの管理

Moodle の他に動画管理サイトを設けて ffmpeg によるトランスコードや共通鍵の生成、暗号化を行い、動画配信サーバに転送する仕組みとしている。コンテンツの流れを図 6 に示す。利用者は mp4 形式等の動画ファイルを動画管理サイトにアップロードする。ffmpeg でセグメント化され、セグメントファイルは AES 暗号化される。サブプレリストには共通鍵サーバの URL を記入し、それらを動画配信サーバ群に転送する。マスタープレリストファイルをもとに、SCORM パッケージジェネレータで生成された SCORM パッケージは、ユーザによってダウンロードされる。SCORM パッケージは、必要なファイルが入った ZIP アーカイブ形式である。これを、Moodle の活動として追加して利用する。

動画を SCORM パッケージとして管理することで、容量の大きな動画本体（HLS の場合はセグメントファイル群）そのものに代わって SCORM パッケージで管理を代理できる。そのため、動画の管理が容易となる。教材動画のコレクションを構築するためには、容量の小さな SCORM パッケージをデータベースで管理することで実現できる。

4. 動画管理サーバ

動画管理サイトのページ設計について述べる。図 7 がログイン後に表示されるトップページである。アップロード（登録）済みの動画のサムネイルが表示される。“動画の新規登録”のリンクがトップに設けられている。

このリンクから、動画をアップロードすると、図 8 の処理待ち状態となる。動画の処理数が少ない場合は、直ちに処理中



図 7 動画管理サイト（トップページ）



図 8 動画管理サイト（処理待ち）



図 9 動画管理サイト（処理中）

（図 9）となる。処理待ち状態では、処理中の件数と、処理待ちの件数が表示される。処理中の状態では、現在の処理内容（音量調整処理中、動画変換処理中、ポスター生成中、暗号化処理中、ファイルの転送中）やトランスコード（動画変換処理）の経過パーセント、終了予定時刻が表示される。

変換が終了すると、動画ビューアが表示される（図 10）。アップロードした動画のプレビュー再生ができる。このページから、



図 10 動画管理サイト（動画ビューア）

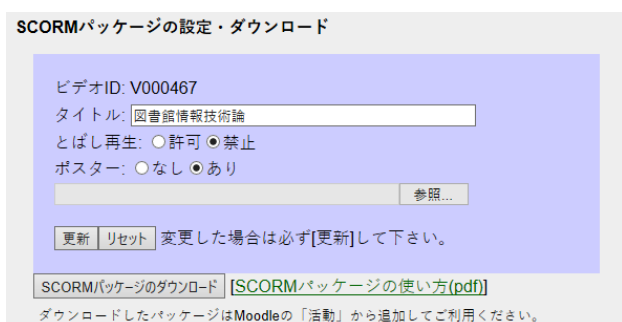


図 11 動画管理サイト（SCORM ダウンロード）

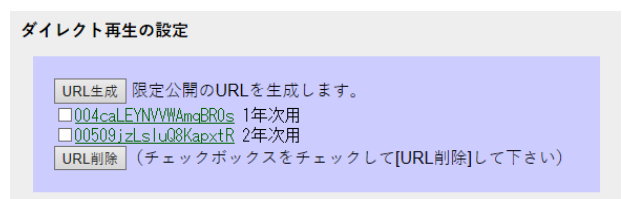


図 12 動画管理サイト（ダイレクト再生の設定）

SCORM パッケージのダウンロード（図 11）が行える。とばし再生（自由な位置からの再生）の可否や、ポスター（サムネイル画像）の指定が可能である。

Moodle 以外の LMS からの利用もできるように、いわゆる“限定 URL”発行の機能も備えている（図 12）。この機能をつかうことで、メールによる教材動画の配布も可能となる。複数発行することができ、必要な機関を過ぎたら無効にすることができる。

管理機能として、図 13 に示す動画変換ジョブの管理（モニタリング）機能を設けている。同時に実行できる変換ジョブは、ロードアベレージで制御している。

5. 評価

ここで述べた動画配信システムは、今年度より本格運用が行われ、千葉大学において COVID-19 対応としてのメディア授業に利用された [8]。その結果、動画管理サイトは極端な混雑もなく変換処理を行うことができ、システムの信頼性が確認で

動画変換ジョブ管理 (moodle2)

変換ジョブ開始可能ロードアベレージ			
250			更新
Load Average: 15			
[P] V016772 sample	348MB(00:10:33)	PROCESSING for 0min.(1) audio level adjusting	
[P] V016771 sample	349MB(00:10:36)	PROCESSING for 0min.(2) Ffmpeg 13% 3min. left	
[D] V016770	1MB(00:01:19)	DONE in 0min.	
[P] V016769 sample	348MB(00:10:33)	PROCESSING for 2min.(2) Ffmpeg 74% 0min. left	
[D] V016768	1MB(00:01:13)	DONE in 0min.	
[D] V016767	382MB(00:14:42)	DONE in 4min.	
[D] V016766	295MB(00:14:42)	DONE in 5min.	

図 13 動画管理サイト（動画変換ジョブ管理）

きた。

動画配信サーバも十分な余裕をもって配信を行えた。パケットの節約が重要となった緊急事態において、マルチビットレート配信が有効に機能したことで、効率的な処理が可能であるだけでなく、スケールアウトにより同時利用ユーザの増加に対応することができる拡張性を確認できた。

また、SCORM パッケージの採用により、Moodle のバージョンアップによる影響を最小限にすることができることで保守性に優れていると言え、かつ他の LMS への移植も容易であると考えられる。

以上のように、実運用から有用なシステムであることが確認できたと考えている。

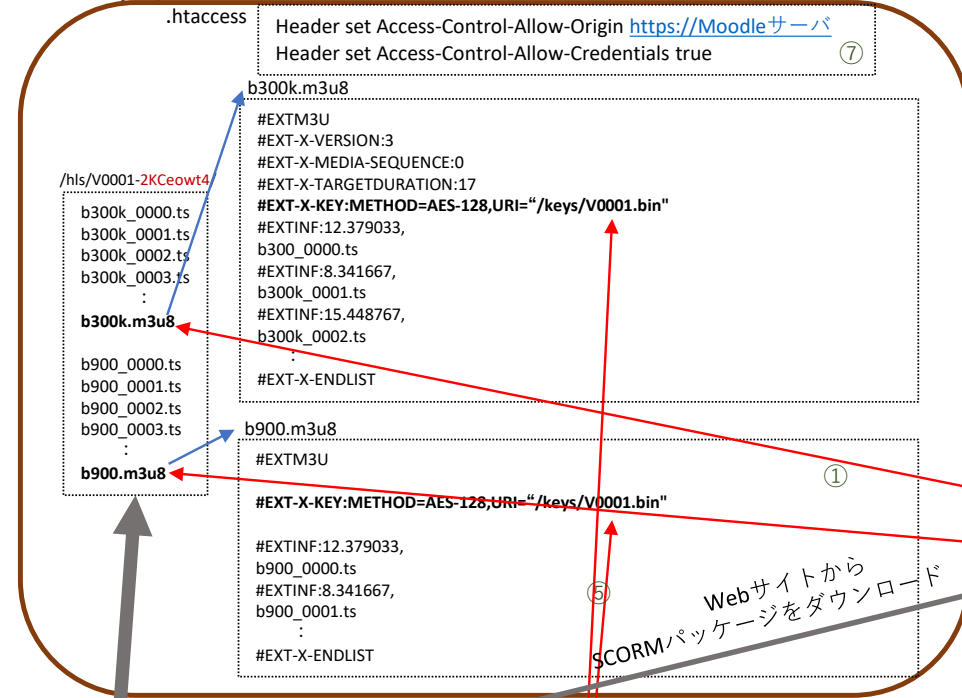
6. まとめ

HLS を利用した Moodle で利用可能な動画配信システムを設計開発した。受講者だけに限定した配信、動画のダウンロード禁止、視聴管理、モバイル環境・データダイエットへの対応、動画コンテンツの管理、Moodle 本体との独立性の機能要件を全て満たし、学部学生 10,547 名、大学院生 3,436 人、開講科目数約 7,000 の規模において安定的に利用できる信頼性およびトラフィックの増加に対応する拡張性、保守性を備えた実用的なシステムであることを確認した。

文 献

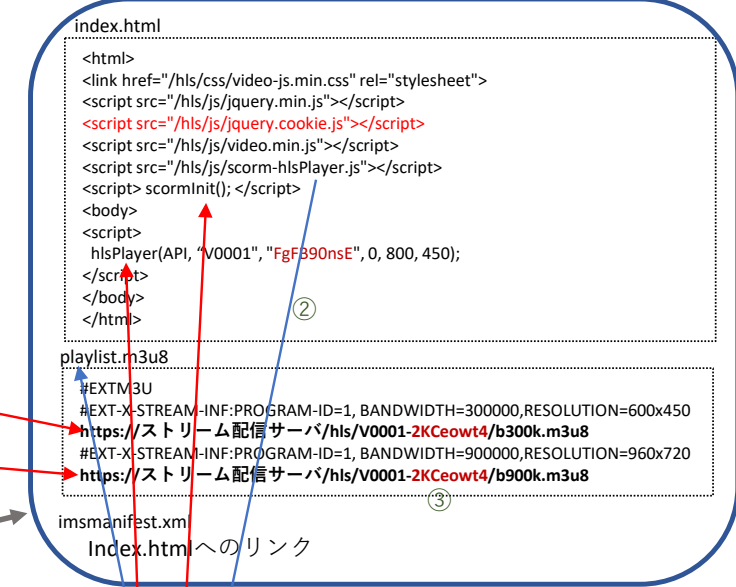
- [1] Moodle - Open-source learning platform, <https://moodle.org/> (2020 年 6 月 3 日 閲覧)
- [2] 檜垣泰彦, 池田晶子, 大木勇人, 藤本茂雄: e ラーニングを指向した Moodle 動画配信方式, MoodleMoot Japan 2020, 2020-02-28 <https://moodlejapan.org/mod/data/view.php?id=36&rid=2071> (2020 年 6 月 3 日 閲覧)
- [3] HTTP Live Streaming, IETF, rfc8216, August 2017 <https://tools.ietf.org/html/rfc8216> (2020 年 6 月 3 日 閲覧)
- [4] 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)
- [5] Video.js - Make your player yours with the world's most popular open source HTML5 player framework, <https://videojs.com/> (2020 年 7 月 30 日 閲覧)
- [6] Advanced Distributed Learning Initiative, SCORM 1.2, <https://www.adlnet.gov/projects/scorm-1-2/> (2020 年 6 月 3 日 閲覧)
- [7] 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.
- [8] 檜垣泰彦, 藤本茂雄, 高瀬浩一, 武内八重子, 松本暢平, 池田晶子, 清水健一, 岡田聡志, “メディア授業用動画配信の実施 ～ COVID-19 への緊急対応 ～,” 信学技報, vol. 120, no. 93, LOIS2020-3, pp. 1-6, 2020 年 7 月.

(A) 動画配信サーバ



(B) Moodleサーバ

SCORMパッケージ (Moodle内)



共通鍵の配信（動画配信サーバ内）

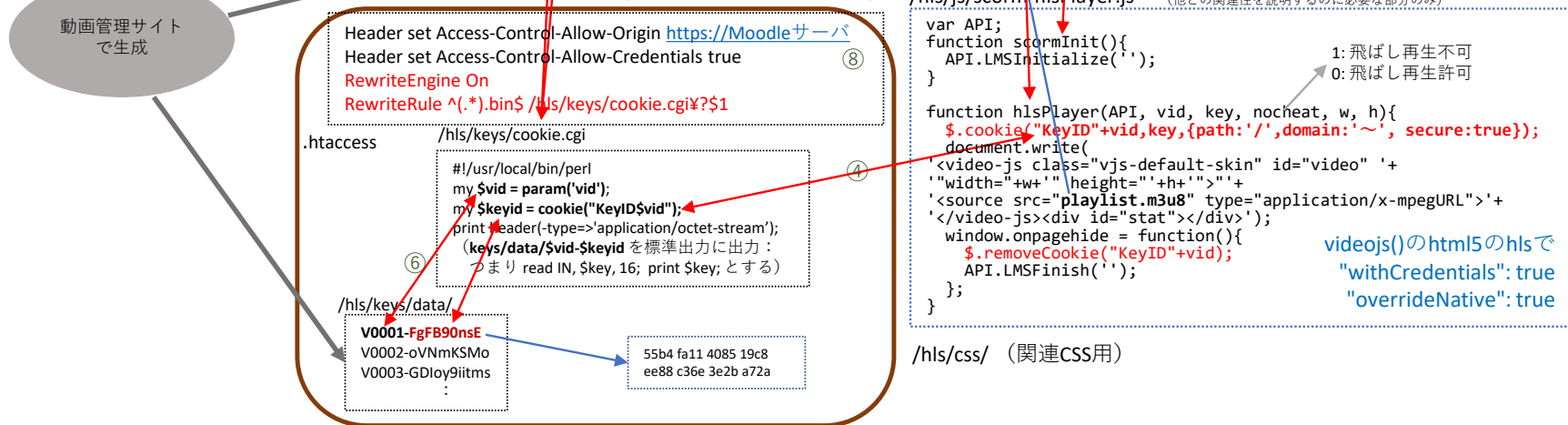


図 14 Moodle における HLS 動画配信の構成