

板書を用いた遠隔講義の一手法

藤岡 与周[†]

A method for on-demand lectures using blackboards

Yoshichika FUJIOKA[†]

ABSTRACT

In this manuscript, a method for on-demand lecture using four (2 x 2) blackboards based on taking videos of the lectures with a 4K action camera and the video size reduction using GPU hardware acceleration is proposed. The 4K (3840 x 2160 pixels, 2160p) high-resolution lecture videos are distributed on YouTube. The data traffic of each 90 minutes lecture video is compressed to several hundred megabytes. The contents of the blackboards are also provided on Google classroom pages as pdf files of multiple blackboard photos in addition to the YouTube links for the lecture videos and some related documents. The on-demand lecture becomes ready about one hour after the lecture ends. By using a smartphone with full HD (1920 x 1080 pixels, 1080p) display, students can take the on-demand lectures and can take notes on the contents of the four blackboards.

Key Words: On-demand lectures, 4K action camera, FFmpeg, NVENC, Blackboards, YouTube, Google classroom

キーワード: オンデマンド授業, 4Kアクションカメラ, FFmpeg, NVENC, 黒板, YouTube, Google Classroom

1. まえがき

新型コロナウイルス感染防止対策として、令和2年度は本学でも遠隔講義の実施が推奨されることとなった。遠隔講義の実施形態の一つとしてパワーポイント等で作成したスライドショーを用いて内容を説明する方式があるが、筆者はこれまで板書中心の講義を行ってきたこともあり、全ての担当科目の実施方法を一度に切り替えることにやや困難を感じていた。

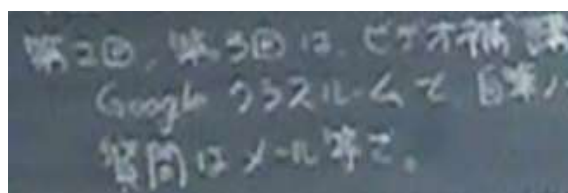


写真1 家庭用ハードディスクビデオカメラで撮影した板書文字の例

また、筆者は平成18年度から自らの板書による講義を家庭用ハードディスク内蔵ビデオカメラで撮影するとともに、板書内容をデジタルカメラで撮影し、この講義写真は学科内の共有サーバーを通じて学生に公開している。講義板書写真は、(1)板書の見えにくい文字等を講義後に学生が確認できるようにするためや、(2)病欠などで欠席した学生が後日講義内容を確認できるよ

令和3年2月27日受付

[†] 工学部システム情報工学科・教授



写真2 家庭用ビデオカメラの講義室での配置例

うにするため等の目的で学生に提供している。一方で、家庭用ビデオカメラで撮影した内容は通常は学生には公開せず、長期欠席など事情のある学生に対しての補講の代替として講義板書写真とともに提供してきた。

このような経緯から、家庭用ビデオカメラで撮影した講義内容をオンライン動画共有プラットフォームであるYouTube¹⁾にて学生に提供できないかと検討し、実際に急遽決まったコロナ禍による5月の大学臨時休業の際には、昨年度撮影した講義動画をYouTubeにて学内ドメイン限定で配信し、オンデマンド授業を実験的に実施した。そこで改めてビデオ撮影内容を確認したところ、まず撮影解像度がアナログテレビの解像度に準じた720 x 480画素のSD画質であったため、講義室の4枚の黒板全体を撮影すると写真1に示すように板書の文字が不鮮明であった。

また、4枚の黒板全体を撮影するためにはビデオカメラのズームレンズを広角いっぱいにしても写真2に示すように教室の中ほどの位置からの撮影となり、ビデオカメラ内の録音マイクも講義室のスピーカから離れた位置になる。このため、講義の説明音声はビデオカメラの周囲の学生の発する雑音や、スピーカからの講義音声の残響音などと混ざって録音されるため、明瞭度が低下し聞きづらくなるがあった。

さらに、自宅などでこの遠隔配信されたビデオを板書写真を見ながら聴講することを考えた



写真3 4Kアクションカメラを用いた撮影機材

場合、学生が持っているスマートフォン1台ではビデオ動画か板書写真のどちらか一方しか表示できない。スマートフォンを2台準備し片方をビデオ講義聴講、もう片方を板書写真の表示とするか、あるいはパソコンのデュアルモニターや高分解像度の高いモニターで両者を同時表示するなどができる学生以外は、解像度の低い講義ビデオによる遠隔講義はあまり実用的ではないことに気づいた。これまでは学内でのビデオ補講であったため、パソコン教室の2台のパソコンを同時に利用すれば、講義動画の視聴と講義板書写真の表示を同時に行うことが可能であった。そこで、講義動画を高解像度とすることにより1台のスマートフォンやパソコン画面でもノートを取りながら講義を視聴できるようにするため、撮影解像度が十分高い4Kアクションカメラによる講義ビデオ撮影を実験的に行うこととした。

2. 4K撮影機材の構成

本撮影に用いた4K撮影機材の構成とその主な仕様を写真3と表1にそれぞれ示す。基本的には、4Kアクションカメラと三脚のみで講義の動画撮影が可能である。しかし、90分の講義を連続して撮影するためにはカメラ内蔵のバッテリー容量で

表1 4Kアクションカメラを用いた撮影機材の主な仕様

| 部品 | 主な仕様 | 型番 |
|------------|---|-------------------|
| 4Kアクションカメラ | 4K 3840×2160/30 fps Ultra HD, 170度広角レンズ, USB 2.0, バッテリ 1050 mAh, 外部マイク端子 2.5 mmモノラル | Crosstour CT8500 |
| 記憶媒体 | 64 GB micro SDXC Class 10/U3 | Samsung EVO Plus |
| 外付けマイク | 単一指向性, +20dB アンプ内蔵, 3.5 mm 端子 | mic05 |
| マイク電源 | 単4乾電池1本 | |
| 変換プラグ | 2.5mmモノラル超ミニプラグ(オス)-3.5mmステレオミニジャック(メス) | F-Factory PLG-H01 |
| カメラプレート | ストレートブラケット, 雲台二台取り付け可能, ホットシュー付き, サイズ約 205mm*30mm*3mm | UTEBIT |
| 自由雲台 | カメラ台直径 30mm, ベース直径 30mm, 高さ 62mm | HAKUBA BH-1 |
| 三脚 | 4段伸縮レバーロック, 3WAY雲台, 耐荷重 1.1kg, クイックシュー | HAKUBA W-312 |
| 丸座金 | M6 x 22mm 1.6t 1枚 | |
| 外部バッテリー | モバイルバッテリー 10000mAh, 最大 2.4A 出力, 3in1 入力, 残量 LCD 表示 | AE10Black-90 |
| バッテリー袋 | ペットボトル携帯用袋を流用, S字カラビナでカメラプレートに取付 | |
| USBケーブル | Micro B 端子, 通信機能付き, 2A 充電可能 | |



写真4 外部バッテリー

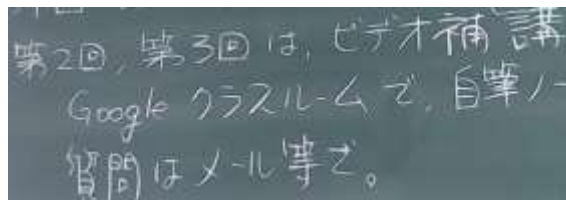


写真5 4Kアクションカメラで撮影した板書文字の例



写真6 4Kアクションカメラの設置位置

は少し足りないため、モバイルバッテリーを外部バッテリーとして備え、USBケーブルにて給電している。このモバイルバッテリーはたまたまペットボトル用の保温袋にちょうどよいサイズのものがあったため、写真4に示すようにこれに入れてS字カラビナで三脚の一部に吊り下げている。

写真5に、4Kアクションカメラで撮影した板書文字の例を示す。写真1に比べると鮮明な板書文字で視聴できることが分かる。使用した4Kアク

ションカメラには170度の広角レンズが備えられているため、カメラの設置位置を写真6に示すように教室の前方の座席付近にすると4枚の黒板が画面内に収まる。このため、黒板が大きく奥行きのある短い教室でも講義ビデオの撮影が容易である。ただし、カメラ直後の座席などカメラに近い座席ではカメラの陰になって黒板が多少見づらい。これが問題になる場合は、教卓を黒板の脇にずらして、カメラの高さを座席の目線の高さよりも低くするなどの工夫が必要である。



写真7 天井スピーカに向けた外部マイク



写真9 外部マイク端子付近を削って上げた様子



写真8 4Kアクションカメラと変換プラグ

模擬的に講義の様子を4Kアクションカメラを用いて撮影したところ、4Kアクションカメラ内臓マイクのみでは反響音も混じった少し明瞭度の低い音声録音されていた。そこで、単一指向性の外部マイクを用いて、講義室内のスピーカからの講義音声の直接音のみをできるだけ録音するため、写真3に示すようにカメラプレートを用いて三脚に4Kアクションカメラと外部マイクを同時に固定できるようにしている。なお、カメラプレート付属の固定ネジが若干長く4Kアクションカメラの固定が緩むため、間に平座金を挟んでしっかり固定できるように調整している。

スピーカは講義室によって天井や黒板近くの壁面などいろいろな場所に設置されており、4Kカメラの向きと外部マイクの向きとはそれぞれ別の方向に変更する必要がある。このため、自由雲台を用いて外部マイクをカメラプレートに固定しており、写真7に示すようにカメラの向き



写真10 外部マイクのスイッチと緑色LED

とは独立して外部マイクを天井などのスピーカに向けることができる。

また、使用した外部マイクの端子が標準的な3.5mmステレオミニプラグであるのに対し、4Kアクションカメラの外部マイク入力には2.5mmモノラルプラグ用である。このため、写真8に示す変換プラグを利用しているが、4Kアクションカメラを三脚に固定するためのブラケットの一部が干渉して変換プラグを挿すことができないため、写真9に示すようにブラケットの一部をやすりで削って上げている。

外部マイクのスイッチを写真10に示す。このマイクは+20dB（信号電圧10倍）の増幅機能を備えている。実際に0dB（増幅無し）と+20dBの双方で撮影をしてみたところ、+20dBの方が音声の明瞭度が良好であったため、こちらの設定で利用し

表2 4Kアクションカメラの主な設定内容

| 設定 | 項目 | 内容 |
|--------|----------|-----------------------------------|
| ビデオ設定 | ビデオ解像度 | 4K 30 |
| | 手振れ補正 | オフ |
| | ループ録画 | オフ |
| | タイムラプス | オフ |
| | スローモーション | オフ |
| | 音声録音 | オン |
| システム設定 | カーモード | オフ |
| | 電源オフ | 5分 |
| | 日時設定 | |
| | 日付形式 | 年月日 |
| | 日付スタンプ | オン |
| | 電源周波数 | 50Hz |
| | 上下反転 | オフ |
| | 表示を閉じる | オフ |
| | FWバージョン | Crosstour CT8500 V3.2.0.3-A |

ている。

外部マイクの電源は単4乾電池1本である。このため、講義撮影時に外部マイクスイッチのオンオフを忘れた場合の対策が必要となる。実際、講義撮影時に何度か外部マイクスイッチのオンオフを忘れたことがあった。外部マイクをオンにしない場合は、4Kカメラ内臓マイクのみでも録音されるため、講義音声の明瞭度は下がるものの無音になることはなかった。また、講義終了後外部マイクのスイッチを切り忘れて、次の講義時に外部マイクの電源が入らない場合に備えて、予備の単4乾電池を外部バッテリー袋に備えている。

4Kアクションカメラには電源スイッチがカメラの前面に備えられているが、外部バッテリーにUSBケーブルを接続してカメラに給電すると自動的にカメラの電源がオンになる。そこで、このあと三脚の位置や雲台の角度を調整して黒板全体が画面に入るようにしたのち、カメラ上部の撮影スイッチをオンにすることにより、講義の録画が開始される。講義終了後は撮影スイッチをもう一度押して録画を終了するとともに、外部バッテリーからUSBケーブルを抜くことで自動的

表3 4K撮影機材の簡易操作マニュアル

| |
|---|
| <p>【撮影開始】</p> <p>(1) 外付けマイクのスイッチを入れる。 ⇒緑色 LED 点灯確認。(外付けマイク用単4乾電池の予備はバッテリーの袋内に保管)</p> <p>(2) USB コネクタをバッテリーに接続する。 ⇒カメラのモニタが表示されるのを確認。</p> <p>(3) 三脚の移動やパン・チルトの調整により、撮影場所を決める。</p> <p>(4) 外付けマイクを天井スピーカに向けて固定する。(マイク下部の自在マウントの固定ノブを緩めて調整後再び固定) ※5分以上経過しカメラの電源がオフになってしまったら、カメラ前面のスイッチを押して電源をオンにする。</p> <p>(5) カメラ上面のシャッターボタンを押し、録画を開始する。 ⇒モニタ下部の時間表示が赤色に表示され、撮影状態となるのを確認。</p> |
| <p>【撮影終了】</p> <p>(1) カメラ上面のシャッターボタンを押し、録画を停止する。 ⇒モニタ下部の時間表示が白色に表示され、待機状態となるのを確認。</p> <p>(2) USB コネクタをバッテリーから外す。 ⇒少しするとカメラのモニタ表示が消えるのを確認。</p> <p>(3) 外付けマイクのスイッチを切る。 ⇒緑色 LED 消灯確認。</p> |

にカメラの電源がオフになる。

4Kアクションカメラの主な設定内容を表2に示す。システム設定において電源オフの項目は「オフ」、「1分」、「5分」の中から選ぶ必要がある。この項目を5分に設定した場合、カメラの電源がオンになってから5分以内に撮影を開始しないとカメラの電源が自動的にオフになってしまう。この場合は改めてカメラの前面スイッチを押すなどして電源をオンにする必要がある。電源オフの項目を「オフ」に設定した場合は、外部マイク同様、4Kアクションカメラの電源オフを忘れずに行う必要がある。以上のように、4Kアクションカメラや外部マイクの電源オンオフを伴う操作がやや煩雑となるため、表3に示す内容を印刷しA5版カードケースに入れ、写真3に示すように三脚に紐で吊り下げている。

今回使用した4Kアクションカメラを含む撮影機材と、これまで使用してきた家庭用ハードデ

表4 撮影機材の重量比較

| | 4K 撮影機材 [g] | HDD ビデオカ メラ [g] |
|---------|----------------|--------------------|
| 本体部 | 442 | 411 |
| 外部バッテリー | 202 | 133 |
| <小計> | 644 | 544 |
| 三脚 | 657 | 657 |
| <合計> | 1301 | 1201 |

※HDD ビデオカメラ：

日本ビクター Everio GZ-MG77-S (2006年製)

イスクビデオカメラとの重量の比較を表4に示す。外部マイクのない家庭用ビデオカメラと比べて100gほど4K撮影機材の方が重量が多いが、概ね軽量であると言える。また、この4K撮影機材から外部バッテリーと三脚を除いた本体部の重量内訳を表5に示す。外部マイクおよび簡易マニュアルを必要としなければ、カメラ本体 89g + バッテリー袋等 58g + 外部バッテリー 202g + 三脚 657g = 1006gの重量となり、家庭用ビデオカメラと比べて約200g軽量である。

3. 4K講義動画のデータ変換

今回利用した4Kアクションカメラは、4K画質30fpsの動画を撮影できるため、生成される動画ファイルの容量は大きなものとなる。カメラ内部では、自動的に15分間の動画に分割されて複数ファイルとしてMicro SDカードに保存される。15分間分のファイル容量は約2.9Gバイトである。

一例として、令和2年11月27日に撮影された論理回路の第10回目の講義動画ファイル容量を表6に示す。6個のファイルに分割された1時間27分の動画ファイルの合計容量は約17Gバイトであり、このファイル容量でそのまま動画配信を行うと、仮に学生がスマートフォンのパケット通信を利用した場合、通信費用が莫大なものになる。また、撮影された講義動画の映像と音声のデータ転送ビットレートはそれぞれ27605kbpsと128kbpsであり、動画全体のデータ転送ビットレートは27738kbpsであるため、通信帯域が十分でない場合にはデータ受信の待ちが多発し、なかなか講

表5 4K 撮影機材本体部の重量内訳

| | 重量 [g] |
|------------------------------|--------|
| 4Kカメラ+クイックシュー | 89 |
| バッテリー袋+USB ケーブル | 58 |
| 外部マイク+自由雲台+ カメラプレート+予備電池等 | 254 |
| 簡易マニュアル | 41 |
| <合計> | 442 |

表6 4K 講義撮影動画ファイル容量の例

| ファイル名 | ファイル 容量[MB] | ビデオ 長さ [時:分:秒] |
|------------------------|----------------|----------------------|
| FILE201127-125439F.MOV | 2976 | 0:15:00 |
| FILE201127-130938F.MOV | 2976 | 0:15:00 |
| FILE201127-132436F.MOV | 2976 | 0:15:00 |
| FILE201127-133934F.MOV | 2976 | 0:15:00 |
| FILE201127-135432F.MOV | 2976 | 0:15:00 |
| FILE201127-140931F.MOV | 2487 | 0:12:32 |
| 合計 | 17367 | 1:27:32 |

義動画を視聴できない可能性が高い。

このため、4Kの高解像度を維持したまま動画ファイル容量を圧縮する必要がある。また、6個のファイルに分割されたまま YouTube に掲載すると、学生は講義 1 回分につき別々の 6 つの YouTube ページにアクセスする必要があり、連続性の観点からも不便であるため、一つのファイルに統合することが望ましい。さらに、撮影された講義動画ファイルを再生してみたところ、音声の音量レベルが低く、再生時に音量レベルを上げないと講義の説明がよく聞こえない場合があった。従って、動画ファイル内の音量レベルの正規化処理も実施したほうが良い。加えて、生成される動画ファイルは拡張子が MOV の形式であるため、Windows PC や Android 端末上でも利用しやすい mp4 形式に変換したい。

3.1 CPU のみによる動画変換

そこで、これらの変換を自動的に行うソフトウェアとして、FFmpeg²⁾を利用した。今回動画変換に用いたパソコンの主な仕様を表7に示す。10年以上前の古いパソコンであるため、メモリ増

表7 動画変換用パソコンの主な仕様

| | |
|------------------|---|
| 機種 | Dell Vostro 430 |
| 発売年 | 2009年 |
| プロセッサ | Intel Core i7 CPU 860 2.80GHz |
| メインメモリ | 16GB DDR3 1333MHz Dual channel |
| ビデオカード | NVIDIA GeForce GTX 1050 Ti |
| ビデオカード メモリ | 4GB GDDR5 128Bits |
| ビデオカード I/F | PCI Express 2.0 |
| OS | Windows 10 Pro 1909 |
| OS 起動 内臓ドライブ | 1TB SSD CT1000MX500SSD1 SATA II 3.0Gb/s |
| ビデオ保存用 内臓ドライブ | 8TB HDD ST8000DM004 SATA II 3.0Gb/s |

設，ハードディスクのSSDへの換装，ビデオカードの換装等を行っている。

FFmpegを用いた動画変換の流れは以下の通りとなる。まず，撮影した講義動画ファイルを動画変換パソコンに転送するため，4K撮影機材のクイックシューを三脚から分離して動画変換用パソコンの近くに移動する。このとき，必要であれば外部バッテリーを取り出して別に準備したUSB電源などで充電を行うとよい。次に，4Kアクションカメラに接続されているUSBケーブルを動画変換用パソコンのUSBポートに接続すると，自動的に4Kアクションカメラの電源がオンになり，外部データストレージモードなどを選ぶ表示がでる。表示内容を確認してカメラ上部のシャッターボタンを押すと，動画変換用パソコンからUSB接続で外部ストレージとして認識される。筆者の環境では，Lドライブとして認識されている。このドライブ内のVideoフォルダ内に，撮影された動画ファイルが保存されているため，カットアンドペーストなどにより動画変換パソコン上の適切なフォルダ内に動画ファイルを移動する。4KアクションカメラのUSB規格はUSB2.0のため，約17Gバイトの動画ファイルの転送に30分弱程度の時間がかかる。動画ファイル転送後

```
FILE201127-125439F.MOV
FILE201127-130938F.MOV
FILE201127-132436F.MOV
FILE201127-133934F.MOV
FILE201127-135432F.MOV
FILE201127-140931F.MOV
```

リスト1 動画ファイル名リストのテキストファイル
(_dir.txt)

```
file ./mp4_1p/FILE201127-125439F.mp4'
file ./mp4_1p/FILE201127-130938F.mp4'
file ./mp4_1p/FILE201127-132436F.mp4'
file ./mp4_1p/FILE201127-133934F.mp4'
file ./mp4_1p/FILE201127-135432F.mp4'
file ./mp4_1p/FILE201127-140931F.mp4'
```

リスト2 動画ファイル統合用インデックスファイル
(_mp4gen1p02index.txt)

はこの4K撮影機材すなわち外部ストレージを安全な方法で取り外すと，4Kアクションカメラの電源も自動的にオフになる。

動画ファイル転送後の処理の流れは以下の通りとなる。まず，リスト1に示すように6個の動画ファイル名のリストをテキストファイルとして準備する。ファイル名は_dir.txtとした。次に，このファイルを基に，FFmpegで6個のファイルを結合するために必要となるインデックスをテキストファイルとして準備する。一例として，_mp4gen1p02index.txtのファイル名とした例をリスト2に示す。ここで，動画変換時の一時フォルダ名をmp4_1pとしている。これらの準備の後，リスト3に示すバッチファイルにより，ファイル容量の圧縮，MOV形式からmp4形式への変換，全ファイルの結合，音量レベルの正規化を自動的に行うことができる。ここではこのファイル名を_mp4gen1p03ffmpeg.batとしている。

このバッチファイルの中で，最初のコマンドにより一時フォルダmp4_1pを作成している。このバッチファイル内には全部で7つのffmpegコマ

```
mkdir mp4_1p

ffmpeg -i FILE201127-125439F.MOV -b:v 1000k -ss 4
    mp4_1p/FILE201127-125439F.mp4
ffmpeg -i FILE201127-130938F.MOV -b:v 1000k
    mp4_1p/FILE201127-130938F.mp4
ffmpeg -i FILE201127-132436F.MOV -b:v 1000k
    mp4_1p/FILE201127-132436F.mp4
ffmpeg -i FILE201127-133934F.MOV -b:v 1000k
    mp4_1p/FILE201127-133934F.mp4
ffmpeg -i FILE201127-135432F.MOV -b:v 1000k
    mp4_1p/FILE201127-135432F.mp4
ffmpeg -i FILE201127-140931F.MOV -b:v 1000k
    mp4_1p/FILE201127-140931F.mp4
ffmpeg -safe 0 -f concat -i _mp4gen1p02index.txt -c:v copy
    -af dynaudnorm -b:a 128k -map 0:v -map 0:a output.mp4

date /T
time /T
mp4gen1p04end.bat
```

リスト3 動画変換バッチファイル
(_mp4gen1p03ffmpeg.bat)

ンドがあるが、最初の6個は個別に各動画ファイルを変換し、圧縮されたmp4形式の動画ファイルを生成し、一時フォルダmp4_1pに保存している。コマンドオプション -b:v 1000k により、動画を再生するための毎秒当たりのデータ転送量（データ転送ビットレート）が映像部分でおよそ1000kbpsになるように指定している。これとは別に、音声部分は既定値の128kbpsである。単純に合計すると1128kbpsの通信速度により動画の再生ができるように圧縮している。撮影されたMOV形式の講義動画ファイルのデータ転送ビットレートは27738kbpsであり、約27Mbpsの通信速度が必要である。従って、-b:v 1000kのオプションによりファイル容量をおおよそ1/25に圧縮するように指定している。

また、最初のffmpegコマンドのみにあるオプション -ss 4 は、動画の最初の4秒間分をスキップす

```
dir FILE*.MOV /B > _dir.txt
gawk -f mp4gen1p02index.awk _dir.txt >
    _mp4gen1p02index.txt
gawk -f mp4gen1p03ffmpeg.awk _dir.txt >
    _mp4gen1p03ffmpeg.bat
_mp4gen1p03ffmpeg.bat
```

リスト4 動画変換コマンドを自動生成し実行するための
バッチファイル (mp4gen1p01start.bat)

る指定である。これは、撮影された講義動画の最初の部分に耳障りなコツコツ音が入るためであり、これを除去している。このため、講義ビデオ撮影時は録画ボタンを押した後すぐに講義を始めずに、少し待ってから講義を始めるようにする必要がある。

最後のffmpegコマンドにより、個別に変換され一時フォルダmp4_1pに保存されているmp4形式の動画ファイルを結合するとともに、音量レベルの正規化を行っている。オプション -f concat -i _mp4gen1p02index.txt がインデックスファイル _mp4gen1p02index.txtを利用して動画ファイルを結合する指定である。また、オプション -af dynaudnorm により音量レベルの正規化を指定している。

以上の結果、output.mp4 のファイル名で変換結果が保存される。このファイル名を例えば講義名などが入ったファイル名に変えて、YouTubeへの登録などに利用する。残りのdateコマンドとtimeコマンドは、変換終了時の日時を表示するコマンドであり、いつ動画変換が終了したかを知るために用意している。また、引き続きmp4gen1p04end.batという名称のバッチファイルを起動して、動画変換パソコン上で音声を鳴らし³⁾、動画変換の終了を知らせるようにしている。

しばらくの間、リスト2のインデックスファイルとリスト3のバッチファイルを各講義終了後に動画ファイル名の部分のみ手作業で変更し動画変換を行っていたが、この変更部分も自動化し作業の効率化を図ることとした。そこで、以下の作業を実行するためのバッチファイルを、フ


```
BEGIN{
  FS=".";
}
{
  printf("file '/mp4_1p%s.mp4'\n", $1);
}
END{
}
```

リスト 5 動画ファイル結合用インデックスファイル生成
用 AWK スクリプト (mp4gen1p02index.awk)

ファイル名 mp4gen1p01start.bat としてリスト4に示すように作成した。このバッチファイルでは、まずリスト1の動画ファイル名リストを生成し、このファイルを基にリスト2のインデックスファイルを生成する。ここで、dir コマンドをオプション/B とともに利用してリスト1を生成しているが、ファイル名の順番を確実に時間順にするためには、さらにオプション/O:N を追加することが望ましい。次に、リスト1を基にリスト3のバッチファイルを生成し、このバッチファイルを実行する。これら2種類の自動実行には、テキスト処理ツールの一つである gawk⁴⁵⁾ を利用している。リスト5とリスト6に、リスト2のインデックスファイルを生成するための awk スクリプト (mp4gen1p02index.awk) と、リスト3の ffmpeg を実行するバッチファイルを生成するための awk スクリプト (mp4gen1p03ffmpeg.awk) をそれぞれ示す。

これらリスト4からリスト6のファイルと、変換終了時に音声で知らせる mp4gen1p04end.bat の4つのファイルを、4Kアクションカメラから移動した動画ファイルとともに同じフォルダに保存し、コマンドプロンプトを起動してそのフォルダ（ディレクトリ）上で最初の mp4gen1p01start.bat を実行することにより、まずリスト1からリスト3のファイルが生成され、続いてリスト3のバッチファイルが実行され動画変換が自動的に実行される。動画変換終了後は mp4gen1p04end.bat が実行され、音声で変換終了を知らせる。

```
BEGIN{
  FS=".";
  printf("mkdir mp4_1p\n\n");
  fileno=1
}
{
  if(fileno==1){
    printf("ffmpeg -i %s.MOV -b:v 1000k -ss 4
mp4_1p%s.mp4\n", $1, $1);
  } else {
    printf("ffmpeg -i %s.MOV -b:v 1000k
mp4_1p%s.mp4\n", $1, $1);
  }
  fileno++;
}
END{
  printf("ffmpeg -safe 0 -f concat -i _mp4gen1p02index.txt -c:v
copy -af dynaudnorm -b:a 128k -map 0:v -map 0:a
output.mp4\n\n");

  printf("date /T\n");
  printf("time /T\n");

  printf("mp4gen1p04end.bat\n");
}
```

リスト 6 動画変換コマンドバッチファイル生成用 AKW
スクリプト (mp4gen1p03ffmpeg.awk)

以上より、講義動画撮影後の作業は、4K撮影機材を動画変換用パソコンに接続して動画ファイルを移動する作業と、動画ファイルが保存されているフォルダにリスト4からリスト6を含む4つのファイルをコピーして最初のバッチファイルを実行する作業のみとなる。動画変換終了後は、生成された output.mp4 を適切なファイル名に変更して YouTube に登録する等の作業が続く。

実際に上記の方法で動画変換した際の所要時間と、生成された mp4 動画ファイルの容量を表8に示す。4Kの解像度を保ったまま動画ファイル容量を708Mバイトまで圧縮することができた。

表 8 動画変換時間と圧縮率 (CPUのみ)

| | |
|-------------------------------------|-------------------|
| 動画転送時間 | 0:26:12 |
| 変換時間 | 4:15:28 |
| 合計 | 4:41:39 |
| 変換後ビットレート[kbps] (変換前 27,738kbps) | 1139 (映像 1007) |
| 変換後容量[MB] | 708 |
| 容量圧縮率[%] (変換前合計 17,367MB) | 95.9 (約 1/25) |

変換前の合計ファイル容量17367Mバイトと比べると約1/25に減少している。また、変換後のmp4ファイルの映像部分のデータ転送ビットレートは1007kbpsとなり、概ねffmpegのコマンドオプションで指定した1000kbpsに近い値となっている。

変換されたmp4ファイルをWindows上で再生したところ、4Kモニタの解像度に相当するフルHDディスプレイ4枚のマルチモニタ上に拡大表示すると、写真5に示すように黒板の文字がはっきり見ることが分かった。4Kアクションカメラが三脚で固定されており、4Kアクションカメラと黒板との相対位置が変化せず黒板に書いた内容が静止画の状態に近い状態のため、動画の情報量圧縮に伴い実質的なフレームレートが低下してもその影響が少ないためと考えられる。また、情報量が圧縮されているため、教員の動きは若干カクカクしたものとなっているが、もともとビットレートが映像に比べて128kbpsと低い音声は十分聞き取れる音量と明瞭度であった。

一方、動画変換時間は転送時間も含めると5時間弱となった。また、動画変換時間の殆どを占める6個の動画ファイルの圧縮変換中のCPU稼働率は図1に示すようにほぼ100%であった。実は、当初はmp4形式への動画変換時に画質等の改善を期待して2パス変換を試したこともあったが、動画変換時間が2倍に増えて転送時間も含めると合計9時間程度になることと、1パス変換でも講義動画としては画質にあまり違和感のない状況であったため、1パス変換方式を選択している。このように講義終了後に動画変換を行った後YouTubeに登録するまでの時間が長いため、

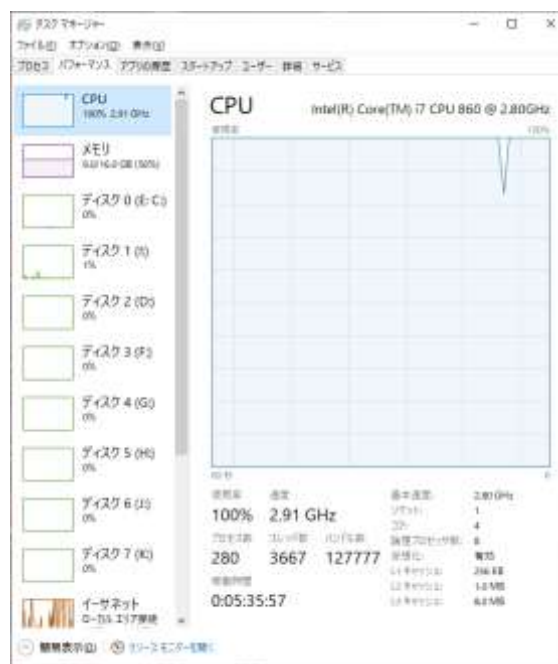


図 1 動画圧縮中の CPU 稼働率 (CPUのみ)

午後の4校時(午後4時終了)や5校時(午後5時40分終了)の講義については動画変換を夜に実行し、次の日の朝にYouTubeに登録することになる。これが休日の前日の場合には、YouTubeへの登録が休日後になる。YouTube上でのデータ変換時間も必要であるため、学生に速やかに講義動画を提供する観点から、動画変換時間をできるだけ減少する必要がある。

3.2 CPU と GPU を用いた動画変換

FFmpegを用いた動画変換の速度を向上させる方法として、ビデオカード内のGPU等をアクセラレータとして利用する方法がある。そこで、ビデオエンコード用の専用ハードウェアNVENCを備えたNVIDIA社のビデオカードを試しに利用することとした⁶⁷⁾。このため、これまで使用していたNVENC非搭載のビデオカードを取り外し、比較的安価なGeForce GTX 1080 Tiビデオカードに換装して、NVENCを利用した動画変換を行った。

ビデオカードに関連するソフトウェアをインストールするとともに、リスト3およびリスト6のffmpegコマンドにおいて、ビットレート指定のオプションである-b:v 1000kに加えてハードウェア

表9 動画変換時間と圧縮率（CPU+GPU）

| | | CPUのみの場合との比率 |
|---|-------------------|-----------------|
| 動画転送時間 | 0:26:12 | 同一条件 |
| 変換時間 | 0:29:09 | 0.11 (約 1/9) |
| 合計 | 0:55:21 | 0.2 (約 1/5) |
| 変換後ビットレート [kbps] (変換前 27,738kbps) | 1423 (映像 1292) | 1.25 |
| 変換後容量[MB] | 890 | 1.26 |
| 容量圧縮率[%](変換前 17,367MB) | 94.9 (約 1/20) | |

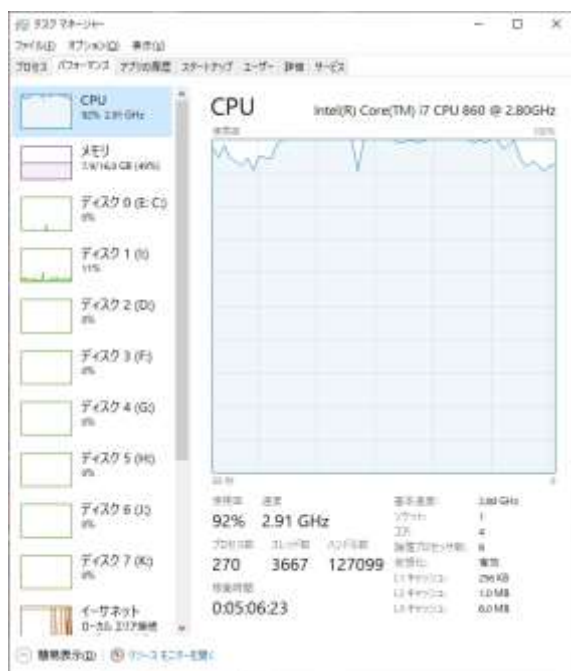


図2 動画圧縮中のCPU稼働率（CPU+GPU）

エンコード指定のオプションである `-c:v h264_nvenc` を追加することにより、GPUを利用した動画変換が可能となる。また、動画変換の方法変更に伴い、一時フォルダや各種ファイル名の名称もCPUのみの場合と区別しやすいように変更している。

NVENCを備えたGPUを利用して動画変換を行った結果、表9に示すようにCPUのみを用いた処理時間である4時間15分から29分へと動画変換時間をおおよそ1/9に、また4Kアクションカメラか

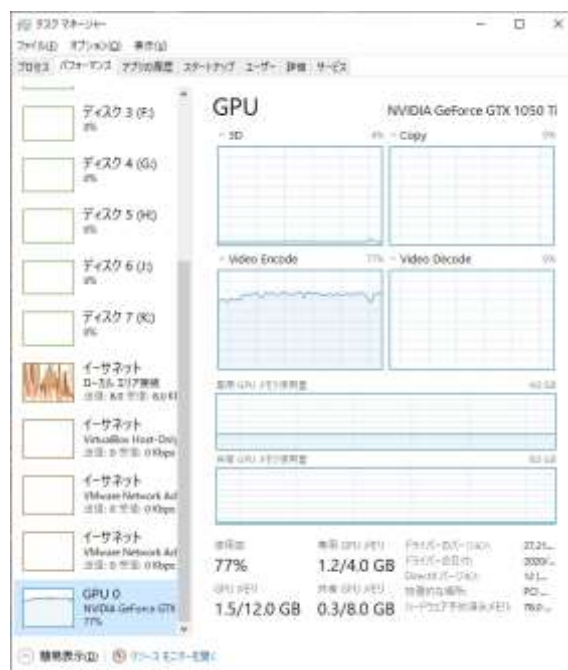


図3 動画圧縮中のGPU稼働率（CPU+GPU）

らの動画転送時間を含めてもおおよそ1/5に大幅に減少することができた。動画転送時間を加えた合計時間は1時間弱となるため、5校時の講義終了後でも動画変換をしてその日のうちにYouTubeに登録することが容易となった。

動画圧縮時のCPUとGPUの稼働率は時間とともにプラスマイナス10%程度変動するものの、図2と図3に示すように平均的にはそれぞれおおよそ92%と77%となった。動画変換用パソコンが古く基本的なバス速度などが遅いため、GPUの性能を100%利用できていないと考えられる。

動画変換時間を大幅に減少できた一方で、変換後のファイル容量はCPUのみで変換した場合の708Mバイトから890Mバイトへと3割弱ほど増加した。学生の通信費用負担軽減の観点からはファイル容量ができるだけ少ないほうが良いが、ファイル容量が非常に増大しているとまでは言えないことから、講義後できるだけ速やかに講義動画を学生に公開することを優先し、CPUとGPUを利用した動画変換を継続して行うこととしている。

論理回路

第10回 講義ビデオ (R02)

2020年11月27日(金)

八戸工業大学 工学部 システム情報工学科

図4 YouTube掲載用のサムネイル画像例

4. 学生への講義動画公開

板書による講義のオンデマンド授業を実現する方法として、YouTubeによる講義動画の公開とGoogleクラスルーム⁸⁾による板書写真の提供を行っている。まず、前節の方法にてCPUとGPUを用いて圧縮された講義動画のファイル名を、YouTubeにて視聴する際のタイトルにそのまま使えるように、output.mp4から講義名称などを含む名前に変更している。例えば、前節の例で用いた論理回路第10回の講義ビデオの場合は、論理回路20201127第10回講義ビデオ.mp4のように、講義名、日時、回数を含む名称に変更している。また、YouTubeにて閲覧する際に表示されるサムネイル画像として、図4に示すような講義名称などの情報を含む、4K画像の縦横ともに1/3の画素数である1280x720画素のjpeg画像をプログラムで自動生成し準備している。さらに、YouTubeの説明欄に掲載する文章を以下に示すように予め用意している。

<YouTube説明文>

論理回路

第10回 講義ビデオ(令和2年度)

日時：2020年11月27日(金)3時間目

場所：G204 教室

学科：八戸工業大学 工学部 システム情報工学科

担当：藤岡 与周

解像度：2160p(4K), 1440p(HD), 1080p(HD), 720p, 480p, 360p, 240p, 144p等から選べると思います。

パソコンモニターやスマホ画面等の表示解像度に応じて選んでください。

1080p以上の解像度であれば、板書の文字も概ね読めると思われます。

YouTubeの画像を部分的に拡大する方法もいろいろあるようです。

通信環境や再生アプリの設定等によっては、解像度を高くできないまたは選べない場合もあるようです。

Google内での解像度変換処理未完了により、必要とする解像度を選べないことがあります。その際は時間をあけて再度アクセスしてください。

講義板書写真も別途用意しているので、必要に応じてそちらも併用してください。

胸に装着したピンマイクでは顔の向きなどにより音声聞き取りにくい場合があるようなので、ヘッドマイク化して講義を実施。4Kアクションカメラ(3840x2160画素30fps, 170度広角レンズ)と(天井スピーカに向けた)指向性外部マイクにより撮影。

オリジナルの動画ファイル(QuickTime形式, 拡張子MOV, 15分×6ファイル)を、mpeg4形式に変換(伝送速度1Mbps以下の設定)し、全ファイルを1つに結合後、音量正規化(いずれもffmpegアプリを使用)。GPUを利用して変換処理を高速化(nvenc使用)。

ファイル容量は合計十数Gバイトから数百Mバイト(数%程度)に減少。

それでも通信データ量が多いので、モバイル回線を利用する場合は通信費に注意してください。

学内WiFiなどの利用をお勧めします。

動画変換が終了し上記がそろったら、YouTubeに大学アカウントでログインし、YouTube Studioのページから動画をアップロードする。YouTube

の動画投稿の際のユーザインターフェースは時々変更されるが、主に以下の通り設定を行う。

まず、動画アップロードの際にファイル名が動画タイトルとして設定されるが、そのままか必要があればこれを修正する。次に、説明文章を入力するとともに、図4のサムネイル画像を登録し、再生リストを設定（論理回路R02）する。オプションとして、子供向けではないことと、コメントオフの設定をしている。非公開の設定とし、hi-tech.ac.jpドメインに限定公開の設定を行う。途中で、この動画が公開されるYouTubeのリンクアドレスが表示されるため、これをコピーし適切に保存しておく。

これら一連の設定を保存すると、まずは低解像度であるSD画質への変換がYouTube側で行われ、続いて4KやHD画質への高解像度画質への変換が行われる。SD画質への変換時間は数十分以内であることが多いが、高解像度の変換は半日から1日程度、場合によっては2日以上かかる場合がある。

続いて、Googleクラスルームの登録を行う。まず、事前にGoogleクラスルームにおいてクラス（論理回路R02）を作成し、受講生をメンバーとして登録しておく。YouTubeの動画リンクアドレスが得られたら、これを用いてGoogleクラスルームに掲載するための以下のような文章を準備している。

<Googleクラスルーム課題ページ説明文>

講義板書写真を添付します。

講義ビデオをYouTubeに登録しました。<YouTube動画リンクアドレスを掲載>

学籍番号@hi-tech.ac.jpでログインすることにより、視聴できます。

Google内での解像度変換処理未完了により、このページを開けない、あるいは必要とする解像度を選べない場合があります。その際は時間をあけて再度アクセスしてください。

再生リスト <再生リストのリンクアドレスを掲載>

【コロナ感染防止を主目的とした遠隔講義対応】

講義を欠席した学生はこの講義ビデオを視聴し、自筆のノートを書き、その写真をこのページに「自筆ノート」の名称が含まれるファイル名で課題として提出すれば、出席扱いにする予定ですが、出席管理システムへの入力時期は遅れる可能性があります。

【授業時間外学修のための課題】

以下の課題について、「課題」の名称が含まれるファイル名で課題として提出してください。

「<課題の内容を記載>」

※自筆のノート写真や課題については、写真での提出もOKですが、可能であれば、pdfファイルにそれぞれ一つにまとめてもらった方が確認しやすいです。

また、講義中にデジタルカメラで撮影した板書写真をまとめてpdfファイルとして予め用意しておく。さらに、講義で利用したその他の資料などがあれば、学生がgoogleクラスルーム利用時に閲覧が容易となるようにpdfファイルとして準備しておく。

講義ビデオの動画変換終了後、上述の説明文と板書写真のpdfファイル（論理回路20201127第10回板書写真.pdf）がそろったら、Googleクラスルームの該当するクラスの授業タブを選択し、作成ボタンの選択肢から課題を選び課題ページを新たに作成する。次に、この課題ページのタイトルを例えば20201127第10回などを入力する。続いて、板書写真のpdfファイルなどをファイル追加でアップロードするとともに、課題の詳細欄に説明文を入力し、これらの設定の保存を行う。この保存を行うことにより、受講生にこの課題ページが新たに作成されたことがメールで連絡されるようになっている。受講生はこのGoogleクラスルームの課題のページにアクセスす



写真11 市販ヘッドマイクの例

ると、板書写真を閲覧できるとともに講義ビデオのYouTubeにもアクセスできる。

YouTubeページの説明文にもある通り、講義では簡易的なヘッドマイクを使用している。これは、講義中に黒板の方を向いたり学生の方を向いたりする際に、胸元につけたピンマイクと口元との距離が遠い状態のまま説明を行なうことがあり、その際は音声聞き取りにくくなることから、撮影した講義動画ファイルを再生しチェックしていた際に気づいたためである。

そこで、顔の向きを変えて話してもマイクと口元の距離が変わらない方法を調べた結果、例えば写真11に示すようなヘッドマイク⁹⁾の存在を知った。このマイクの端子が現在講義で使用しているワイヤレスマイクに接続できるかどうか不明であったため、写真12に示すように試しに約60cmの直径3mmのアルミ針金を曲げて簡易的なヘッドマイクとなるようにしてみた。両耳に引っ掛けるために小さく曲げた部分が2か所あり、その間は後頭部にあてる部分である。先端部はジグザグに折り曲げて平面の部分を作り、既存のピンマイクをぐらぐら回転しないようしっかり固定できるようにしている。

試作したこのアルミ針金製ヘッドマイクアダプタとピンマイク先端部の重量はそれぞれ11gと13gの合計24gと、市販品と比べても十分軽量であるとともに、左耳に掛ける部分から先端のマイクまでの部分は適度に柔らかいため、口元とマ



写真12 アルミ針金で試作したヘッドマイク

イクの距離や位置関係を容易に変更可能である。ワイヤレス送信器は胸ポケットに入れて使用すると、顔の向きを変えてもマイクとの間のケーブルが短くて引っ張られることがほとんどない。このマイクケーブルは特に固定していないが、邪魔になるようであれば、アルミ針金のどこかに適宜固定するか、マイクケーブルを頭の後ろに回すなどするとよい。

実際にこの簡易ヘッドマイクを講義で使用したところ、顔の向きを黒板に向けたり学生に向けて説明をしても、常にほぼ一定の音量で講義室内のスピーカから説明が聞こえることが分かった。さらに、それでも講義ビデオを再生してみると音声聞き取りにくい場合があったが、それは説明時の活舌が良くないせいであることに気づいたため、その後はできるだけ意識して講義説明の際に活舌が悪くならないように気をつけている。

Googleクラスルームの説明文にも記載の通り、コロナ禍の影響によりオンデマンド授業を受講する場合は、学生は講義動画のYouTubeを視聴するとともに必要であれば板書写真pdfも閲覧しながら自筆のノートを仕上げる。これをGoogleクラスルームの課題として提出することにより、講義を対面で受講したのと同等と判断し出席扱いとしている。

令和2年(2020年)12月上旬には学内で学生のコロナ感染者が発生した影響により急遽1週間ほ

表 10 YouTube 視聴スマートフォンの仕様

| | |
|-----------------|--|
| 機種 | Samsung Galaxy Note 3 |
| 発売年 | 2013年 |
| 内部メモリ | ROM:32GB, RAM:3GB |
| OS | Android 5.0 |
| モバイル通信 | IIImio ミニマムスタートプラン (4G, 3GB/月, ドコモ回線) |
| ディスプレイ | 5.7インチフル HD 1920×1080 ドット |
| メインカメラ 動画解像度 | 3840x2160(16:9), 1920x1080(16:9), 1440x1080(4:3), 1280x720(16:9), 320x240(4:3) |

ど対面授業が停止され、遠隔授業のみ実施可能となった。この際にはだれもいない教室で板書による講義のビデオ撮影を行った後、これまで説明してきた方法によりYouTubeとGoogleクラスルームで講義ビデオの公開と板書写真の提供を行い、おおよそ受講生の4割程度が自筆ノートを課題として提出し出席扱いとなった。このような事態以外では学生間の距離を十分とり密になることを避けながら通常の対面授業を実施しており、多くても数名程度の欠席者が後日Googleクラスルームで自筆ノートを課題として提出し出席扱いとなっている。

スマートフォンを用いてモバイル回線¹⁰⁾により講義ビデオをYouTubeにて視聴する場合のデータ通信量について、表9のCPUとGPUを用いて動画変換した論理回路第10回講義ビデオを用いて調査した。使用したスマートフォンの主な仕様を表10に示す。ディスプレイ解像度に相当する1080pのフルHD画質が、YouTubeアプリ上で選択できる最高の画面解像度であったため、1080p画質で視聴した。4K画質と比べると縦横ともに半分の分解能であるが、5.7インチのスマートフォンの画面でも黒板に書かれた文字は概ねはっきりと読むことができた。

平日午前11時頃から八戸工業大学内にてYouTubeで講義動画の視聴を開始したところ、12時前まではスムーズに講義動画を視聴できたが、12時を過ぎるとしばしば動画の停止とデータ読み込みが繰り返されるようになった。従って、通

表 11 変換時ビットレートを変更した場合の動画変換結果 (CPU+GPU)

| 変換時指定ビットレート [kbps] | 500 | 250 |
|-------------------------------------|--------------------|--------------------|
| 動画転送時間 | 0:26:12 | 0:26:12 |
| 変換時間 | 0:29:58 | 0:30:34 |
| 合計 | 0:56:10 | 0:56:45 |
| 変換後ビットレート[kbps] (変換前 27,738kbps) | 604 (映像 473) | 865 (映像 734) |
| 変換後容量[MB] | 378 | 541 |
| 容量圧縮率[%](変換前 17,367MB) | 97.82 (1/46) | 96.88 (1/32) |

信回線の状態が良くない状況では、講義ビデオの視聴にはあまり適さないと言える。

また、YouTubeにアップロードした際の動画ファイル容量は890Mバイトであるのに対し、講義ビデオを視聴し終えた際のデータ通信量は1.06Gバイト（1085Mバイト）となり、約2割ほど多かった。この原因について、YouTube上でのデータ変換の結果ファイル容量が増加したのか、動画の停止とデータの再読み込みで無駄にデータ通信が発生したためなのか、あるいは他の原因があるのか不明である。

講義ビデオ視聴時のデータ通信量を減らすためには、動画圧縮率をさらに高める必要がある。これまで、動画圧縮時の映像部分のビットレート指定は1000kbpsとしていたが、この値は参考例にあった値を暫定的に選んだものであった。従って、この映像ビットレート指定の値を500kbpsと250kbpsに変更して、CPUとGPUを用いて動画変換を行った結果を表11に示す。いずれの場合も動画変換時間は表9に示す1000kbps指定の場合と比べてほとんど変わらない。

500kbps指定の場合は変換後の映像ビットレートが473kbpsとなり、概ね指定通りの動画圧縮が行われている。また、変換後のファイル容量も撮影時に比べて1/46、1000kbps指定時の890Mバイトに比べて半分以下の378Mバイトまで圧縮されるため、YouTube視聴時のデータ通信量が2割増の約450Mバイトであったとしても、1000kbps指



写真 13 スマートフォンによる撮影位置の例

定の場合に比べておおよそ半分程度のデータ通信量に減少可能と考えられる。さらに、変換後の動画を視聴した結果、1000kbps指定の場合と同様、板書の文字ははっきり見えており、説明の音声も明瞭であった。

250kbps指定の場合は変換後のビットレートおよびファイル容量が500kbps指定の場合に比べて逆に増加している。このことから、今回変換した講義動画については、1000kbps指定と250kbps指定の間に変換後のビットレートおよびファイル容量が最も少なくなるビットレート指定の値が存在すると考えられる。

本報告では、撮影解像度が4Kかつ170度広角レンズを備えたアクションカメラを利用している。撮影解像度だけであれば、例えば表10に示すスマートフォンでも4K動画を撮影可能である。従って、外部マイクと適切な変換ケーブルを利用することにより、4Kアクションカメラの代わりにスマートフォンを利用して講義動画の撮影が可能である。

表10に示すスマートフォンで講義動画を試しに撮影している様子とその映像画面を、写真13と写真14にそれぞれ示す。4Kアクションカメラが黒板のかなり近い位置に設置できるのに対し、スマートフォンの場合は4Kアクションカメラに比べてカメラの画角が少し狭いため多少後ろの座席からの撮影となる。

また、このスマートフォンの場合は、天井の蛍光灯の光がフレアとなって映像に映りこんで



写真 14 スマートフォンで撮影した黒板の様子

しまう。このような場合には適切なレンズフードを取り付ける必要がある。

さらに、このスマートフォン付属の基本的なカメラアプリを利用した場合には、フルHDである1920x1080の解像度で撮影する場合、おおよそ30分経つと撮影を自動的に終了してしまうため、講義中にタイマーで30分毎にアラームを鳴らし、撮影しなすことで講義全体を撮影する手間が必要であった。従って、今回使用した4Kアクションカメラのように、長時間の撮影時に複数の動画ファイルに分割保存できる機能があれば、4Kアクションカメラに代えて講義動画を容易に撮影できると考えられる。

5. むすび

黒板が4枚利用可能な講義室における板書を利用したオンデマンド授業を、高解像度カメラの一つである4Kアクションカメラによる撮影と、ビデオカードGPUに内臓の専用ハードウェアを利用した動画変換による講義動画撮影後の1時間程度の作業により、YouTubeとGoogleクラスルームを利用して受講生に提供する方法について報告した。この結果、映像の転送ビットレートを500kbpsに指定して動画変換を行うことにより、1回90分の講義につきおおよそ500Mバイト程度のデータ通信量で、1個のスマートフォンで板書のノートを取りながら遠隔講義を受講することができる見通しを得た。

スマートフォンの画面が小さくて見づらい場合には、ミラーリングにより、モバイルディス

プレイやテレビ等を画面サイズの大きいサブモニタとして利用できる場合がある。YouTubeで講義動画を視聴する場合は、筆者の講義の場合はフルHDである1080pの解像度でも板書の文字を概ね読むことができるようであるが、1440p（2K）や2160p（4K）の高解像度で視聴するとよりはっきりと板書を見ることができると、視聴する側の環境に応じて解像度を選択するとよい。

また、本報告では動画変換時に最初に4Kアクションカメラから動画ファイルを転送し、その後動画変換を行う方法を説明した。しかし、動画変換中のディスクアクセスの頻度を調査したところ、動画変換中はあまりディスクアクセスが行われず、CPUやGPUでの処理が支配的のようであった。そこで、まず4Kアクションカメラを動画変換用パソコンに接続した後、4Kアクションカメラ上の動画ファイルを入力として動画変換を行い、その後これらの動画ファイルをパソコンに移動する作業を自動的に行う方法を試みた。この結果、最初の動画変換時間はおおよそ33分程度と若干増えるものの、YouTubeへの講義動画登録とGoogleクラスルームへの講義板書写真pdfファイルの登録等を含め、講義動画撮影終了後の作業時間を40分程度に短縮できる見込みが得られた。従って、5校時の講義終了後でも速やかにオンデマンド授業の準備を完了できると考えられる。これらの方法を、来年度の講義から実施していきたいと考えている。

今回動画変換に利用したFFmpegツールは、動画撮影時にも利用可能な様々な機能が豊富に備えられている。今後の課題として、講義終了後さらに速やかにオンデマンド授業の準備を可能とするため、撮影後に動画変換を行うのではなく、講義動画を所望の解像度と映像ビットレートで撮影できるようにすることなどが挙げられる。

参考文献

- 1) YouTube, <https://www.youtube.com/> <2021年2月27日アクセス>
- 2) FFmpeg: A complete, cross-platform solution to record, convert and stream audio and video, <https://ffmpeg.org/> <2021年2月27日アクセス>
- 3) (一例) バッチで、wavなどの音声を再生しよう（コマンドプロンプトから音を鳴らす方法）、<https://language-and-engineering.hatenablog.jp/entry/20100729/p1> <2021年2月27日アクセス>
- 4) Gawk, <https://www.gnu.org/software/gawk/> <2021年2月27日アクセス>
- 5) Awk, <https://ja.wikipedia.org/wiki/AWK> <2021年2月27日アクセス>
- 6) NVIDIA Developer FFmpeg, <https://developer.nvidia.com/ffmpeg> <2021年2月27日アクセス>
- 7) NVIDIA Video Encode and Decode GPU Support Matrix, <https://developer.nvidia.com/video-encode-and-decode-gpu-support-matrix-new> <2021年2月27日アクセス>
- 8) Google: Classroom を活用して、教えることにかける時間を増やす, <https://edu.google.com/intl/ja/products/classroom/> <2021年2月27日アクセス>
- 9) (一例) MM-SPAMP9HM【ヘッドマイク（MM-SPAMP9交換用）】MM-SPAMP9（ハンズフリー拡声器スピーカー）対応の交換用ヘッドマイク。 - サンワサプライ株式会社, <https://www.sanwa.co.jp/product/syohin.asp?code=MM-SPAMP9HM> <2021年2月27日アクセス>
- 10) IJmio 料金比較表, <https://www.ijmio.jp/hdd/spec/> <2021年2月27日アクセス>

要 旨

板書を多用する講義について、4K アクションカメラによる講義動画撮影とビデオカードのGPUを利用した動画圧縮により、講義終了後1時間程度の作業で、4K（3840×2160画素）の高解像度かつ1講義90分につき数百Mバイトのデータ転送量のオンデマンド授業を学生に提供する方法を提案している。YouTubeにより講義動画を配信するとともに、Google クラウドルームを用いて講義板書写真やその他の資料を配布する。フルHDディスプレイを備えたスマートフォン1台を用いて、学生はオンラインでいつでも講義を受講し板書の内容をノートに取る事が可能である。

キーワード：オンデマンド授業、4Kアクションカメラ、FFmpeg、NVENC、黒板、YouTube、Googleクラウドルーム