

研究ノート

可搬性に優れた映像配信システムの構築

矢野口 聡

Construction of a Video Distribution System with Excellent Portability

YANOKUCHI Satoshi

要 旨

近年、映像をストリーミング配信するシステムとして様々な製品やサービスが登場しており、選択の幅が広がってきた。しかし、教育現場において講義等の収録や配信を目的としたシステムを導入・運用する際には、導入コスト、利用場所の制約、外部ネットワーク利用時の回線帯域確保、セキュリティ対策、著作権対応といった検討すべき課題がある。これらの課題に応えるシステムを低コストで構築することの可能性を、試作機を作って検討した。その結果、単機能ではあるが、一定レベルの画質で映像をリアルタイムまたはオンデマンドでストリーミング配信できることが確認できた。

キーワード

映像配信システム NUC オープンソース

目 次

- I. 背景と目的
- II. システムの構成と機能
- III. 本システムの性能と考察
- IV. 結び
- 注
- 文献

I. 背景と目的

講義などを映像化して配信するシステムを構築する場合、最低条件として板書内容が認識できることが挙げられる。また、システムの利用率を上げるためには、操作が分かりやすく運用管理の負担がないことが求められる。その結果、現在流通しているシステム製品には大がかりなものが多く、導入には基本システムだけでも100万円以上する製品が主流である。さらには、保守費用として年間数万円以上を要するシステム製品もあり、導入や運用にはコスト面で大きな負担が強いられる。大規模講義室や視聴覚室などの限られた教室のみに導入するだけでは、利用者にとっては利用機会が限られてしまうであろう。その対策として、導入費用が低く抑えられシステムの運用管理が不要なクラウド型のアプリケーションサービスの選択が考えられるが、ユーザ数など規模に応じて維持費が発生する点をふまえると容易に導入できるとは言い難い。

最近ではスマートフォンの普及による開発競争が盛んとなり、搭載されるCCDカメラの高性能化が進んでいる。処理速度の向上によって高品質の動画撮影が可能となった。これに合わせてカメラで撮影した動画を共有する無料のアプリケーション及び付随する配信サービスが次々に登場している。Ustreamなどの映像ライブ配信サービスを利用すれば、スマートフォンを使って手軽に動画配信が可能である。しかし、教育現場での利用を考えた場合、このようなサービスではインターネットを経由して配信するため、著作物を扱う場合には教材内容に注意を払う必要があることや、特定の視聴者だけに配信するにはユーザ登録が必要となるなど、煩雑な作業が発生することになる。また、一定以上の回線帯域を確保するには、それに見合った運用コストも考えなくてはならない。

一方、タブレットやスマートフォンなどの小型情報端末の普及によって、超小型PC用の部品が市場に数多く出回るようになった。中でも2012年11月に登場したIntel社の小型PCフォームファクタ^{注1}であるNUC^{注2}は、約10cm×10cmというサイズのマザーボード上にエントリークラスのデスクトップPCと同等の機能と性能を搭載できることで注目されている。現在はベアボーン^{注3}という形で製品化されているが、CPUにCore i5が搭載されたものもあり、様々な利用方法を考えることができるようになった。

このような背景から、可搬性と操作性に優れた

小型の映像配信システムを低価格で構築できる可能性があると考え、試作を行うこととした。なお、試作にあたってはスマートフォンによる動画配信システムとの比較を考慮して、導入費用の目標を4万円に定めた。

II. 本システムの構成と機能

本システムはスマートフォンを使ったWi-Fi^{注4}経由の動画配信と同等の機能を備えることを必要条件とした。これが実現できれば、Wi-Fiの電波が届き電源が確保できる構内であれば手軽に持ち運んで動画の録画と配信が可能となる。

まず、システムの中心となるハードウェア本体の検討にあたっては、選定対象を持ち運びが容易な超小型PCとして表1の4機種を対象として、価格、CPU性能、最大メモリ容量、内蔵可能ストレージ、通信機能、外寸法について比較を行った。外寸法はCUBOX-I4PROとLIVAが小さいが、どちらも搭載可能なメモリ容量が2GBまでと少なく、DE3815は無線LAN機能がない。結果、DN2820を採択することとした。DN2820はIntel社から発売されているNUCシリーズのエントリーモデルではあるが、64bitCPUとオンボードビデオカードが搭載されており、デスクトップ型PCと同等の性能が期待される。CPUにはBayTrail-M^{注5}ベースのデュアルコアCeleron N2820を採用している。このCPUは最大TDP^{注6}7.5W、SDP^{注7}4.5Wと消費電力が低いのが特徴である。インターフェースにはUSB3.0×1、USB2.0×2、2.5インチSATAインターフェースを備えており、デスクトップ型やノート型のPCで用いられているストレージを流用することが可能である。また、通信機能としてEthernet、無線LANに加えてBluetoothと赤外線センサーも搭載されている。

この機種はベアボーンの形で提供されているため、マザーボード上にはメインメモリとストレージが内蔵されていない。よって、DDR3L^{注8}タイプのRAM8GBと内蔵型SATA2.5インチハードディスク500GBを追加した(図1)。ストレージにSSD^{注9}を利用すれば読み書きの処理速度が向上するが、今回はコストを抑えるために見送った。

カメラについては、ハイビジョン画質(解像度1,920×1,080ピクセル)での撮影が可能で取り扱いの容易さを考慮して、USBで映像を取り扱う規格であるUVC^{注10}に対応した機種とした。UVC対応の製品は最近になって対応製品が多数出てきている。

本システムはLinuxOSでの稼働を前提としていることから、その中から動作実績のある機種を選定することとした。結果、軽量でマイクが内蔵されているLogicool社のHD Pro Webcam 920tを採用した(図2)。カメラにはハードウェアエンコーダが内蔵されておりシステム本体側への負担軽減が期待できる点と、最短7cmからの20段階オートフォーカス機能によって手動によるピント調整が不要である点を評価した。以上のハードウェア機器購入にかかった費用は、およそ43,000円^{注11}であった。

システム本体の外寸法は、幅×奥行き×高さ¹¹が117mm×112mm×52mmとコンパクトで、カメラと共に三脚に取り付けて使用することが可能である(図3)。電源は12V/36WのACアダプタから供給するが、最大負荷時でも8W~9W程度の消費電力である。電源が取れない環境ではノートPC用外付バッテリーを使用することも可能である。

本システムに組み込むOSについては、様々な用途での採用事例が多く技術情報が入手しやすい点と、最新デバイスにもいち早く対応している点からUbuntu Linux^{注12}ディストリビューションを採用した。他の選択肢として、サーバOS用に実績のあるCentOS^{注13}も検討したが、インストール後の起動に問題があったため見送った。



図2. システム本体(左)とカメラ(右)

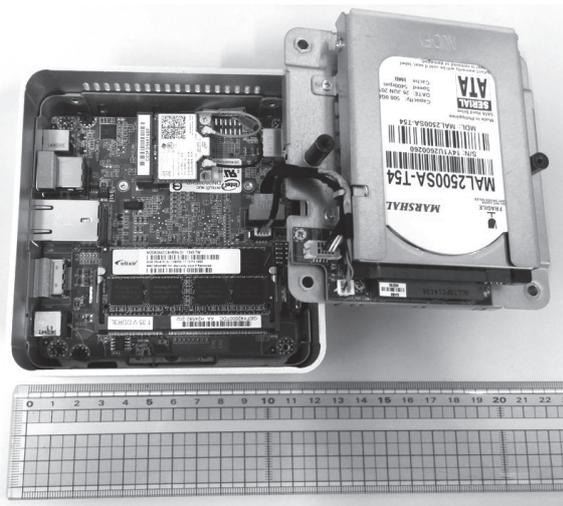


図1. システム本体内部



図3. 三脚を使った使用例

表1. 比較した機種の一覧

製品名	NUC kit DN2820FYKH	NUC kit DE3815TYKHE	CUBOX-I4PRO	LIVA B3 2G 23G
メーカー	米Intel	米Intel	イスラエルSolidRun	台湾Elitegroup Computer System
平均実売価格	17,000円	17,000円	17,000円	18,000円
CPU	Celeron N2820 2コア, 2.4GHz	Atom E3815 1コア, 1.46GHz	Coretex-A9 4コア, 1GHz	Celeron N2806 2コア, 1.6GHz
最大メモリ	8GB	8GB	2GB	2GB
ストレージ	2.5inch SATA	eMMC 4GB 2.5inch SATA	microSDHC eSATAII	eMMC 32GB
LAN	Gbit Ethernet 802.11 b/g/n	Gbit Ethernet	Gbit Ethernet 802.11 n	Gbit Ethernet 802.11 a/b/g/n
外寸法 (幅×奥行き×高さ)	117×112×52mm	190×116×40mm	54×54×45mm	118×70×56mm

システムは図4に示すネットワーク構成で稼働する。システム本体の設置場所に応じて、EthernetまたはWi-Fiを選択し映像配信ができる。そして、この本体には2種類の配信機能を搭載した。

まず1つめの機能は撮影映像と音声のリアルタイムストリーミング配信である。まず、カメラの映像をキャプチャするためにLinux上でビデオを扱うAPIであるV4L2^{注14}を使用した。本システムで使用するカメラにはH.264^{注15}ハードウェアエンコーダが内蔵されている。これを活かすため、キャプチャした映像はH.264でコーデックすることとした。なお、音声はMP3^{注16}にコーデックし、動画と同期して配信する。ツールには、キャプチャ、コーデック、ストリーミング配信の処理がまとめて実行できるVLC^{注17}を利用した。VLCにはコマンドライン実行ができるCVLCが用意されており(図5)、FFmpeg^{注18}のlibavcodec^{注19}ライブラリを呼び出すことによって様々なコーデックに対応している。

2つめの機能は、システム本体にファイル保存した動画をクライアント側からオンデマンドでストリーミング再生できるしくみである。ストリーミング

サーバにはEvoStream Media Serverという製品のオープンソース版であるC++RTMP Server^{注20}を利用した。CVLCによってコーデックされたH.264動画ファイルをWebサーバの公開領域に設置しておき、クライアントからの要求に応じてC++RTMP Serverがストリーミング配信するという動作をする。このサーバを使えば、現在広く普及しているFlash Playerのプラグインを組み込んだWebブラウザを介して動画を再生することも可能となる。

Webブラウザ上での視聴を可能にするためには、さらにサーバ上にHTMLに組み込み可能なプレーヤーを用意する必要がある。本システムではHTML5対応プレーヤーであるEASY HTML5 VIDEOを使って実現した。この種のプレーヤーには他にFlowPlayer^{注21}やJWPlayer^{注22}など数種があり、多くの場合、HTMLテキストの中にjavascriptの形で組み込んで、図6のようにWebページの一部に動画を表示させることが可能である。配信に必要なHTML、スクリプト、画像、動画の各ファイルは図7のように配置した。VLCやXBMCなどの専用プレーヤーを使って再生する場合は、videoディレク

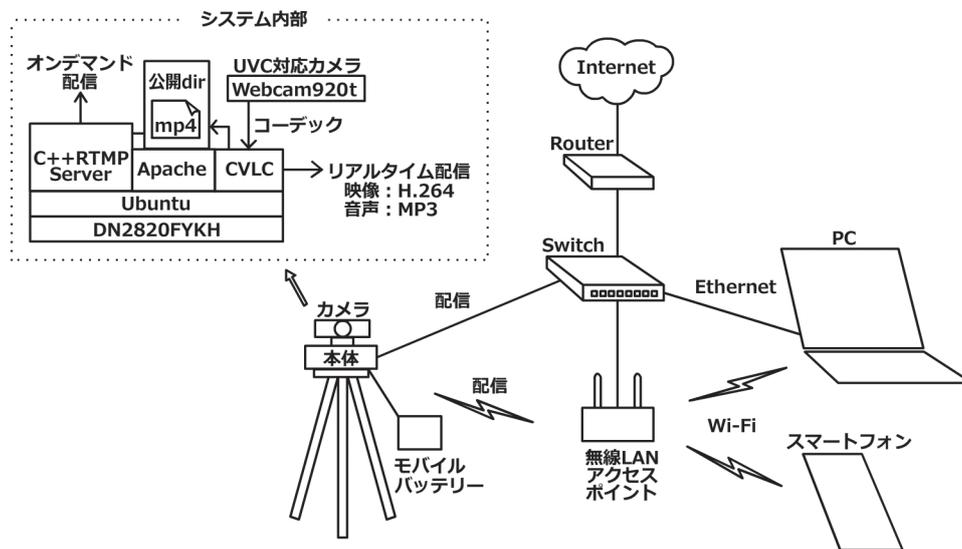


図4. システム構成

EthernetおよびWi-Fiを経由して映像を配信する
インターネットを介さない閉じたネットワークでの配信が可能

```
cvlc v4l2:///dev/video0 :input-slave=alsa://hw:1,0 :live-caching=300 --sout '#transcode{vcodec=h264, vb=800, fps=12, scale=1, acodec=mp3, ab=192, channels=2, samplerate=44100}:http{mux=ffmpeg(mux=flv), dst=:8090/}' :sout-keep
```

図5. vlcによるカメラ映像配信の実行例

カメラから取り込んだ映像をフレームレート12fpsのH.264で、音声をMP3でそれぞれコーデックし、8090ポートでhttp配信する例
ファイル保存する場合は :file{dst=/var/www/video/test1.mp4,no-overwrite} と指定する

トリ配下にある動画ファイルへ直接アクセスし、Webブラウザでの再生はstreamディレクトリへアクセスする。なお、いずれの方法で再生しても全画面表示が可能である。

また、これら2つの機能をシステム起動時に自動起動できるように、/etc/rc2.dディレクトリにS20cvlc->./init.d/cvlc-streamという形でシェルスクリプトを作り、キーボードやマウスを外した状態にして電源ボタンを押すのみで利用できるようにした。

Ⅲ. 本システムの性能と考察

本システムを使って再生映像の品質を確認した。本システムのカメラはフルHDに対応しており、最大解像度1,920×1,080ピクセルの映像を取ることができる。フルHD画質にてリアルタイムストリーミング配信を行ったところ、クライアントPC (CPU : Corei5/ Memory : 8MB/64bit Windows8.1) 側でWindows版VLCプレーヤー (図8) を使って再生した映像は、内容の判別さえ出来ない状態となった。カメラにはH.264ハードウェアエンコーダを搭載しているが、システムをモニタしたところ、フルHD撮影時にはCPUにほぼ100%近い負荷がかかり機能していないことが分かった。また、解像度1,280×720ピクセルでのCPU負荷も80%前後と高く、再生映像には数多くの欠けがあった。このことから、HDレベルでの配信は不可能であることが分かった。

解像度とフレームレートを段階的に落としながらクライアント側の再生映像を確認したところ、解像度800×600、フレームレート20fpsでの再生が確認できた。この設定値での画質について、ホワイトボードに書き込んだ文字の認識程度を確認した。約10cm四方の大きさの文字をホワイトボードに細字のペンで書き込み、2mから4mの間で段階的に距離を離しながら撮影した映像を、クライアントPCからネットワーク越しに再生して文字が認識可能かを試したところ、3m以内の距離でははっきりと認識できることが確認できた (図9)。照明の明るさやペンの太さを調整すれば、4m以上の距離でも認識が可能であると思われる。また、この条件下で撮影した映像がクライアントPC上で再生されるまでに約2.5秒の遅延が発生することを確認した。この値は、システム本体のNICにEthernet (有線LAN) を使用してもWi-Fi (無線LAN) を使用しても同じであったことから、コーデック処理による遅延と考えられる。しかし、この程度であれば一方向への配信であれば問題はないと考える。

また、スマートフォン (CPU : Qualcomm Snapdragon800, 2.26GHz/Memory:2GB) 上での再生も試みた。Android版VLCプレーヤー (図10) を使って確認したところ、PCと比較すると映像画質は低くなり、解像度320×192ピクセル、フレームレート12fpsでの再生が確認できたが、動きが少ない映像であれば解像度480×270ピクセル、フレームレート16fpsまでは認識が可能であった。しかし、遅延は約9秒とPCの3倍以上となった。



図6. Webブラウザでの動画再生例

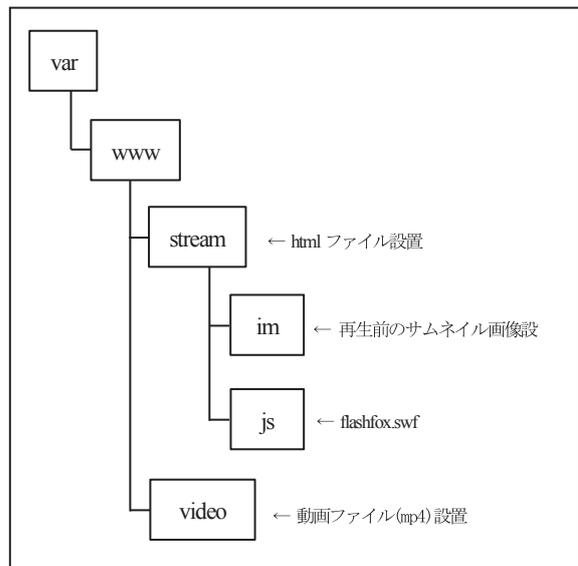


図7. サーバのディレクトリ構造

リアルタイム配信を行う場合、複数の画質設定映像を同時に配信できない。そのため、PC用の画質設定で配信した場合はスマートフォンでの再生は不可能となり、画質をスマートフォンに合わせて配信すればPCでの再生は可能であるが、画質が落ちてしまう。システム上に仮想化システムを構築して複数のストリーミングサーバを稼働させる方法もあるが、本システム本体のCPU性能では実用的な性能は出せない。よって、用途に応じて設定を使い分けるか複数台を用意することになる。

オンデマンドストリーミング配信下での再生画質については、リアルタイム配信時と比較して画質の

高い映像を再生できた。録画できる最大映像画質を調べたところ、解像度960×720ピクセル、24fpsで、1分間の録画に要したデータ容量は約13MBであった。この映像はPC上でスムーズに再生できたが、スマートフォンではやや解像度が落ち、スムーズな再生が出来たのは720×480ピクセル以下であった。オンデマンドによるストリーミング配信であれば、HD画質でないとはいえ携帯端末などでも十分な画質で視聴可能であることが分かった。

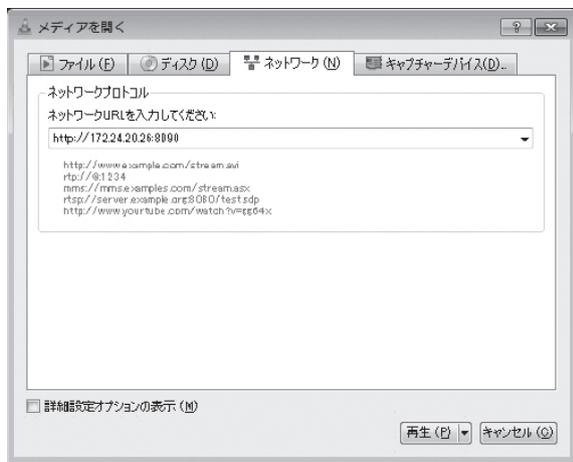


図8. PCからの再生

Windows版VLCを使ってストリーミングサーバへアクセスする画面



図10. スマートフォンからの再生

Android版VLCを使ってストリーミングサーバへアクセスする画面

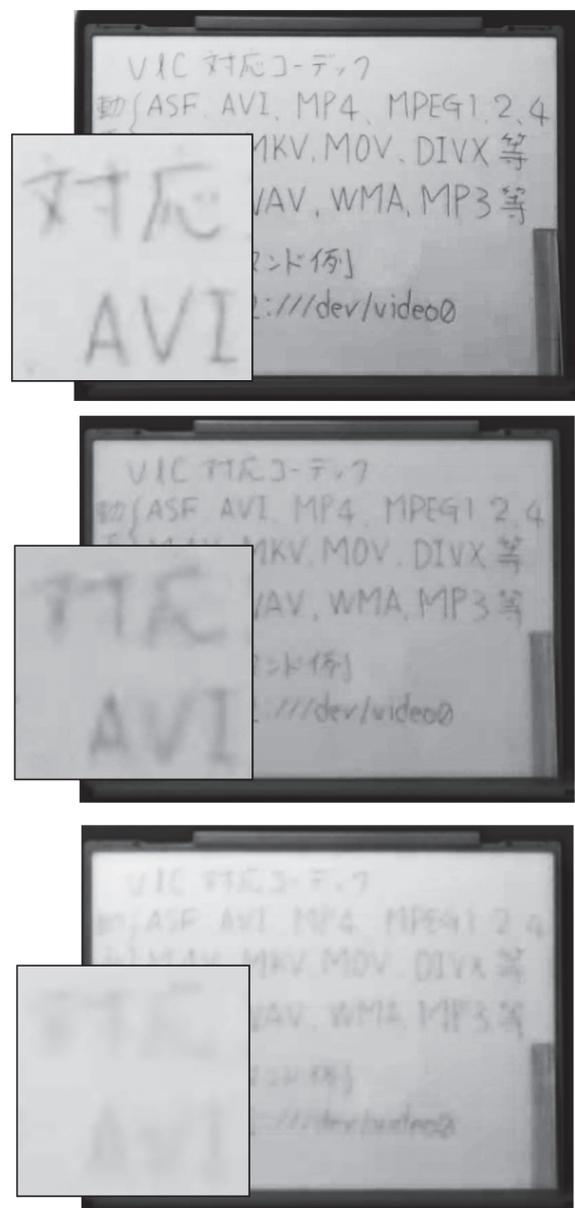


図9. 再生画面の文字比較

デスクトップPCから再生したホワイトボードの映像
カメラからの距離:上から2m, 3m, 4m

IV. 結び

以上のように、超小型PCを利用して可搬性に優れた映像配信システムを構築することができた。配信映像の画質はフルHDレベルには届かなかったものの、3m程度の距離から撮影した映像はPCでのリモート再生に耐えうるものであり、オンデマンドでのストリーミング配信であれば、より画質の高い映像を再生できることが分かった。今後、NUCのような超小型PCの性能はデスクトップPCのそれに近づくことが予想される。コーデックおよびストリーミングの処理速度が向上すれば、再生映像の画質向上が期待できる。

また、最近注目され始めた映像配信の方法としてHTML5^{注23}の利用がある。HTML5で策定されている規格であるWebRTC^{注24}をもとにプログラムを作成する方法である。WebRTCは1対1、1対多、多対多の通信形態が選択できるため、映像配信だけでなくビデオ会議システムにも利用が可能な技術である。通常、映像配信するにはサーバを介したWebSocket^{注25}によるTCP通信を行うが、WebRTCではサーバを介さないUDPによるP2P通信ができる仕様となっている。したがって、サーバの高負荷による遅延が発生せずTCPに比べてオーバーヘッドが少ない。しかし、実際にはNATやFireWall^{注26}を跨ぐような通信をする際には制約が出る。Webブラウザ同士がP2Pで通信する場合、NATによってアドレス変換されたグローバルIPやUDPポートの情報が取得できない。よって、シグナリング処理で互いにグローバルIPレベルでの情報を通知する必要がある。その手段としてSTUN^{注27}を用いるのだが、FireWallによって外部との通信可能なポートが制限されている場合はSTUNを使っても通信ができないことがある。STUNでは、UDPポートは単純に使われていないポート番号を探して割り振っているため、空きがない場合は通信できないことになる。そのような場合には、TURN^{注28}を使って解決することができそうである。現時点ではWebブラウザがHTML5に未対応のものがあり、すべてのプラットフォームでWebRTCが使える状況ではないが、今後普及すればより手軽に映像配信やTV会議を実現する手法として期待が持てる。

また、本システムでは本体の電源ボタンを押すだけでリアルタイム配信やオンデマンド配信を可能としたが、そのために配信映像の画質や保存ファイルなどの設定を固定的にせざるをえなかった。設定

値を変更するにはターミナル端末から操作しなければならない。今後、スマートフォン等を利用した設定変更操作が可能なインターフェースを追加できれば、より実用性の高いシステムになると考える。

注

- 注1 マザーボードや I/O パネル、ネジ穴などシステム部品の物理的寸法を規定した規格のこと。
- 注2 Next Unit of Computing
- 注3 完成した状態ではなく、主にマザーボードと電源などの一部の部品が内蔵された PC のこと。
- 注4 業界団体 Wi-Fi Alliance が発行している無線 LAN の国際規格 IEEE802.11 に準拠することを示すブランド名のこと。最近は無線 LAN そのものを指すことが多い。
- 注5 第3世代の Atom 向けマイクロアーキテクチャである Silvermont を搭載した CPU のひとつでノート PC 向けに開発されたもの。
- 注6 最大必要吸熱量
- 注7 Scenario Design Power。Intel 提唱の放熱設計基準値のこと。
- 注8 DRAM の規格である DDR3 SDRAM のひとつで、低電圧で動作する。DDR3 が 1.5V に対して DDR3L は 1.35V で動作する。
- 注9 フラッシュメモリを用いたドライブ装置。ハードディスクと比較して価格が高いが、消費電力が低く抑えられ安定性が高く高速動作する。
- 注10 USB Video Class。USB Implementers Forum によって策定された USB2.0 の拡張規格。非圧縮データまたは MPEG2 や MPEG4 などの圧縮データを USB 経由で転送することが可能。
- 注11 購入費用の内訳：ベアボーン 17,000 円、カメラ 12,000 円、2.5inch 512GB HDD 5,000 円、4GB RAM×2枚 9,000 円。モバイルバッテリーを電源に使用する場合には、別途 15,000 円程度が必要 (24,000mAh の場合)。
- 注12 Debian GNU/Linux から派生した Linux ディストリビューションの 1 つ。
- 注13 Red Hat Enterprise Linux から派生した Linux ディストリビューションの 1 つ。
- 注14 Video for Linux 2。Linux 上でビデオを扱うための統一的な API である V4L (Video for Linux) の後継。V4L とは互換性はない。
- 注15 ITU-T では H.264、ISO/IEC では MPEG4 規定されている動画圧縮規格の 1 つ。
- 注16 MPEG-1 Audio Layer-3。音声圧縮規格の 1 つ。
- 注17 VLC media player、VideoLAN Client。GPL によって公開されているフリーのメディア再生ソフトウェア。Web ブラウザ用プラグインも提供している。
- 注18 UNIX 系 OS で動作する動画や音声の変換ソフトウェア。コーデック、コンテナ、色空間・サイズ変換、動画のフィルタリングなどを可能とするライブラリからなる。
- 注19 動画や音声をコーデックするライブラリ。
- 注20 RTMP は Adobe が開発した Flash で動画や音声をストリーミング再生するプロトコル。C++ で開発されたサーバソフトウェア。
- 注21 <https://flowplayer.org/>
- 注22 <https://account.jwplayer.com/>
- 注23 W3C より 2008 年 1 月 22 日に草案が発表された HTML の改訂版。2014 年 10 月 28 日に正式に勧告された。2016 年には HTML 5.1 が勧告される予定。
- 注24 Web RealTime Communication。Web ブラウザ上で P2P 通信を行うための仕様で Web ブラウザ

にプラグインを組み込む必要がない。

- 注25 Web ブラウザと Web サーバとがソケット通信を行うための仕様。
- 注26 企業内 LAN などを不正侵入から守るための防火壁のこと。
- 注27 Simple Traversal of UDP through NATs。NAT を超えてリアルタイムに UDP 通信を可能にするためのプロトコル。
- 注28 Traversal Using Relay NAT。FireWall にポートを 2 つ (3478/UDP、9000/TCP) のみ開けてクライアント同士が通信する間に入りパケットのやり取りを肩代わりするしくみ。見かけ上は P2P 通信に見えるが、TURN サーバが全てをリレーするためパケットがサーバに集中してネットワークに負荷がかかりやすい。

文献

- 北川 文夫, 大西 壮一. 対面講義と e-learning (LMS+VOD) とを併用した講義形式の実践と分析. 教育情報研究 第22巻第3号. 日本教育情報学会. p.57-66 (2007年1月)
- 佐藤 純也, 伊藤 亮介, 藤井 哲郎. キャンパス間ネットワークを用いた HD 映像ストリーミング配信に関する検討. 東京都市大学横浜キャンパス情報メディアジャーナル 第15号. p.88-93 (2014年4月)
- 曾我 聡起, 藤澤 法義. 簡便で安価な映像配信システムを用いた授業映像配信の実践. コンピュータ & エデュケーション VOL.28. 東京電機大学出版局. p.11-16 (2010年6月)
- 辻 靖彦, 杉山 秀則, 芝崎 順司. ストリーミング配信映像と連携した双方向型教材作成機能の開発. 教育システム情報学会第37回全国大会講演論文集. p.174-175 (2012年8月)
- サーバ構築研究会. CentOS6 で作るネットワークサーバ構築ガイド. 秀和システム. (2012年2月)
- デージー ネット. はじめての CentOS7 Linux サーバ構築編. 秀和システム. (2014年9月)
- Linux 究極マスターバイブル. 晋遊舎. (2014年7月)
- 日経 Linux 編. Ubuntu で作るかんたん Linux サーバー. 日経 BP 社. (2014年1月)
- 激安の超ミニマシんでいこう. 日経 Linux 8月号. 日経 BP 社. p.22-66 (2014年7月)