

学内ネットワークを用いた HD 映像ライブストリーミング

花澤 裕樹 田嶋 宏基 藤井 哲郎

手軽なストリーミングサーバーの登場やストリーミング配信サービスの増加に伴い、ストリーミングを用いた映像・音声配信が広く普及し始めた。特にリアルタイムで配信を行うライブストリーミングが話題を醸し、HD 映像を用いた高品質な映像配信が注目され始めている。本学の横浜キャンパスには有線 LAN が系統的に設置され、同時に敷地内のあらゆる場所で無線 LAN を用いてインターネットに接続することが可能である。しかし、本キャンパス内でこれまでに HD 映像を用いて本格的なライブストリーミングを行ったことがなく、ライブストリーミングにおける問題点が明確でなかった。今回、これを詳細に調査し、学内ネットワーク環境を明確化するとともに、プロトタイプシステムを用いて実際に検証する。

キーワード：学内ネットワーク、キャンパス LAN、HD 映像、ストリーミング

1 まえがき

本学の横浜キャンパスは、学部開学の 1997 年に情報メディアセンター（現：情報基盤センターYC）を開設し、最新のネットワークをキャンパスに導入してきた。建物間には光ファイバーが敷設され、運用開始当時としては高速の 100Mbps の有線 LAN が全ての教室・研究室に張り巡らせている。2000 年には、無線 LAN が利用できる環境を立ち上げ、映像機器も積極的に利用し、サイバーキャンパスの概念を実現してきた。

しかし、地デジが試験放送を開始する前であったために、アナログ放送規格（SD 規格）を主体としたスタジオ機器、配信装置で映像関係が運用されている。早急にこれらの映像装置類を地デジ放送品質と同等の HD 映像レベルに引き上げていく必要がある。このとき、既存の学内ネットワークをそのまま活用できるのかどうか大きな問題となる^[1]。

ネットワークで映像を扱う場合、基本的にストリーミング方式により映像データを取り扱うことになる。ストリーミングとは主に動画や音声などのマルチメディアファイルを転送、再生する方式の一つである。ファイルをダウンロードしながら再生を行い、待ち時間を短縮することができるという特徴がある。さらに生中継に対応した方式として、ライブストリーミングがある。まさに読

んで文字のごとく、インターネットを介して、テレビやラジオと同等のライブ生中継をストリーミングで行う方式である。

本稿の目的は、学内キャンパス LAN を用いて、HD 映像のライブストリーミングが可能かどうかの検証である。その為に、学内のあらゆるところで伝送レートの測定を行う。また、最近のスマートホンの普及も見据えて、無線 LAN での HD 映像のライブストリーミングに関する検証も行う。

2 HD 映像ライブストリーミング方式

ライブストリーミングは、用いる伝送方式により 2 種類に大別される。1 対 1 が基本となるユニキャスト方式と 1 対多が基本となるマルチキャスト方式である。マルチキャスト方式はネットワークへの負荷は低いものの、煩雑なオペレーションが必要であり、インターネットでは普及していない。これに対し、ユニキャスト方式でありながら、中間点に配信用のサーバーを設置し、サーバーを介してユニキャスト方式で多くのユーザーの視聴を可能とする方式が急激に普及し始めている。Ustream やニコニコ動画に代表されるインターネットを用いた生中継サービスがまさにこの方式である^[2]。

表 1 代表的な HD 映像ライブストリーミング方式

方式	伝送 プロトコル	映像 エンコード	伝送 レート
Real Media	RTSP	-	-
QuickTime	RTSP	H. 264 可	8Mbps
Windows Media	RTSP	WMV9	10Mbps
Flash Media	RTMP	H. 264 可	8Mbps
DVTS (HDV 映像)	RTP	MPEG2	25Mbps

HANAZAWA Hiroki

東京都市大学 環境情報学部情報メディア学科 2011 年度卒業生

TAJIMA Hiroki

東京都市大学 環境情報学部情報メディア学科 2011 年度卒業生

FUJII Tetsuro

東京都市大学 環境情報学部情報メディア学科教授

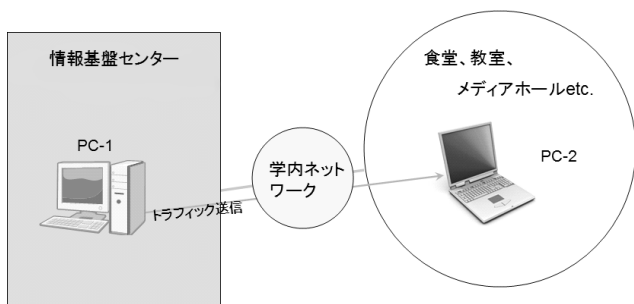


図1 Jperfによる帯域制御されたパケットの通信試験

ライブストリーミングを利用したサービスは数多くある。但し、そこで用いられるライブストリーミング方式は限られている。そのなかで、HD映像をライブストリーミング可能な方式の代表的なものを表1に示す^[3]。個人向けのライブストリーミングサービスでは、比較的Flash Media形式のストリーミングを利用しているものが多い。同表における映像エンコーダとは、配信したい映像を符号化し、ストリーミング形式のファイルに変換するために必要となるソフトウェアである。撮影現場と視聴者の中間地点に位置するのが配信用のストリーミングサーバーである。ライブストリーミング方式毎に対応したサーバーを用意する必要がある。このストリーミングサーバーをインターネット上にて無償で提供しているのがUstreamである。

3 ストリーミング用のネットワーク測定

3.1 ネットワークの測定手法

本稿では学内キャンパスLANを用いたライブストリーミングの特性把握に焦点を置く。ライブストリーミングではRTPなどの伝送プロトコルを用いて、正確に帯域制御されたIPパケットにより伝送を行う。一般的にライブストリーミングにおけるIPパケットはその帯域が十分に制御されている。従って、学内LANの計測にあたり、正確に帯域制御されたIPパケットのストリームがパケット損失無く安定して送受信できるかを調べることになる。

これを満たす測定用ソフトとしてJperf2.0.2がある^[4]。正確に帯域制御されたUDPパケットにより2台のPC間の通信を測定できる。一方のPCから、指定の通信速度でパケットを送出し、これがもう1台のPCで受け取れるかをパケットごとに正確に測定するソフトである。これを用いて学内ネットワーク環境の測定を行う。その様子を図1に示す。UDPパケットを送り出すPC1をキャンパスネットワークのハブとなる情報基盤センター内の研究室(2104号室)に設置する。PC2を実験室、教室、食堂に持ち出し、学内ネットワークに接続し、UDPパケットを問題無く受信できるか測定する。情報基盤センターから

教室、食堂に向けたライブストリーミング中継を意識しての設定である。

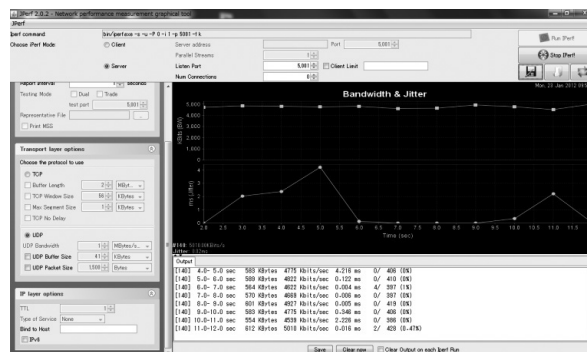


図2 パケット受信中のJperfの表示画面

教室、食堂に持ち出すPC2は、持ち出した先で有線LAN或いは無線LANに接続する。DHCPによりIPアドレスが自動的に割り付けられるので、この割り付けられたIPアドレスをPC1側で設定する。続いて、データ転送時間を秒で設定する。これは600秒に設定し、10分間の連続した送受信の計測を行う。

UDPパケットのPC1からの送出レートの設定であるが、有線LANではHDVの伝送レートである25Mbpsのみを用いた。これは、表1に示されるライブストリーミング方式で最大の伝送レートである。この25Mbpsでパケット損失無く送受信できれば、全てのライブストリーミングが問題無く行えるネットワーク環境であることが解る。なお、UDP Buffer Sizeを1000Kbytes、UDP Packet Sizeは1,500Byteと設定した。参考の為に、Jperfの動作画面を図2に示しておく。正常に測定が行われている場合、同図のように画面中央に緑色の線でBandwidthとJitterの触れ幅が表示される。パケットロスが激しく発生すると振れ幅が激しくなる。

3.2 有線LANの測定

前節に述べた測定手法を用いて様々な場所での有線ネットワークを測定した結果を本節では示す。測定場所として選択した7箇所は以下のとおりである。

[有線LAN測定場所]

- 3号館 1階 31A 教室(大教室)
- 2階 32A 教室(大教室), 32K 教室(中教室)
- 4階 GWR(演習室)
- 4号館 1階 食堂(西側), 食堂(東側)
- 2階 カフェ
- 2号館 1階 メディアホール

各測定場所に設置されているLAN端子を用いて学内ネットワークに接続し、測定を行った。その結果を表2に

示す。参考の為に、計測時刻も併せて示しておく。

同表において、GWR(演習室)で3.2%の packets 損失が起きているが、LAN 端子の修理を行って計測をし直すと0%となった。また、食堂西側 LAN 端子で計測された packets 損失も LAN 端子の不備と推察される。以上のことから、正確に 25Mbps に帯域制御された IP ストリームであれば、学内ネットワークにおいて packets 損失無くデータを送受信できることが確認できた。10 年以上を経た本学のキャンパスネットワークではあるが、有線 LAN を利用する場合ライブストリーミングに用いて問題が無いことが示された。

表2 有線 LAN における packets 損失の測定 (25Mbps)
(注：LAN 端子の故障であることが後で判明)

場所	測定時間	packets 損失
31A	12:20	0%
32A	10:40	0%
32K	14:05	0%
GWR	13:56	3.2%(注)
カフェ	16:07	0%
メディアホール	16:44	0%
食堂(西側)	14:25	1.4%
食堂(東側)	17:29	0%

3.3 無線ネットワークの測定

学内の7箇所で無線ネットワークに関するストリーミングの送受信試験を行い、packets 損失を正確に測定した。測定場所として選択した7箇所は以下の通りである。参考の為に、壁に設置された無線基地局から測定場所までの距離を示しておく。

[無線 LAN 測定場所]

3号館	2階	32A 教室	基地局から 15m
	4階	GWR	基地局から 2.0m
4号館	1階	食堂 A	基地局から 2.0m
		食堂 B	基地局から 11.3m
	2階	カフェ	基地局から 6.5m
2号館	1階	メディアホール A	基地局から 8.3m
		メディアホール B	基地局から 18m

無線ネットワークに関して測定した結果を表3に示す。同表には、電波強度を測定した結果も併せて示す。これは、WiFiSiStr というソフトを用いて計測した無線 LAN の電波強度である⁵⁾。同表より、無線アンテナからの距離により packets 損失が大きく異なること。同時に、時間帯によっても packets 損失が大きく変わる。これは、無線 LAN を共有している使用者数によっても大きく測定結果が異なると推定される。特に、10Mbps を超えるとパ

ckets 損失が激しく発生し、25Mbps のビットレートではさらに顕著になる。以上のことより、無線 LAN の評価の難しさが理解できる。

表3 無線 LAN における packets 損失の測定

場所	電界強度	伝送レート			
		10Mbps		25Mbps	
		時刻	packets 損失	時刻	packets 損失
32A	-54dBm	11:33	7.7%	10:50	81%
GWR	-36dBm			14:50	5.9%
カフェ	-50dBm			19:05	0.3%
メディアホール A	-56dBm	18:49	0.06%	17:03	0.95%
メディアホール B	-48dBm	17:45	0.8%	18:37	20%
食堂 A	-42dBm	16:49	0.1%	14:59	13%
食堂 B	-55dBm	15:45	0.6%	16:12	22%

4 ライブストリーミングの評価

有線 LAN を用いれば、本学のキャンパスネットワークを用いて問題無くライブストリーミングが行えるという測定結果が出た。これを受けて、プロトタイプのリブストリーミング配信システムを構築し、その映像を最終的に確認することにする。併せて、無線 LAN の packets 損失が発生する環境でどのような映像品質が享受できるのか主観評価実験を行う。本稿では、広く利用されている Windows Media 系の Windows Media Server と Flash 系の Wowza Media Server の2種類のプロトタイプシステムを構築してライブストリーミングの検証を行う。

4.1 プロトタイプシステムの構築

ライブストリーミングシステムのプロトタイプ構築にあたり、図3に示す様な基本構成をとることにする。即ち、エンコーダ用 PC 及び配信用サーバー用 PC を情報基盤センター2104号室に設置する。評価用の配信素材として、講義形式のハイビジョン映像である「2011年ティーチン」を用いる。この映像を SONY 製 Blu-ray レコーダー BDZ-AT350S で再生し、その D 端子映像出力をエンコーダ用 PC に入力し、サーバーを介して学内にライブストリーミング配信する。Blu-ray からの出力は、解像度を 1280x720 画素、フレームレートを 60fps に設定してある。以上の構成をとる Windows Media Server システムと Wowza Media Sever システムをそれぞれ構築する。

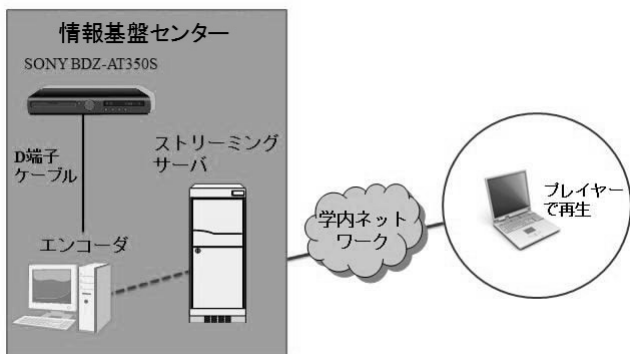


図3 ライブストリーミング用プロトタイプの基本構成

[Windows Media Server の構築]

以下に Windows Media Server の構築手順を述べる。

- ①エンコーダ用の PC を用意し, Windows Media Encoder Version 9 をインストールする。以下に PC のスペックを示す。
 NEC Express5800/S70
 OS:Windows XP professional
 CPU:Intel Core2 Quad 9650, メモリ 3GB
- ②サーバー用の PC を用意し, Windows Media Server 2008R2 を導入する。以下に PC のスペックを示す。
 NEC Express 5800/GT110b
 OS:Windows Media Server 2008 R2 Standard
 CPU:Intel Celeron G1101 2.2GHz, メモリ 2GB
- ③サーバーにおいて, Windows Media サービスをインストールし, 基本ストリーミングシナリオの中にあるブロードキャスト公開ポイントの作成を行う。
- ④配信を受ける PC において Windows Media Player を用いて再生する。

Windows Media Encoder 上の制御画面の様子を図4に



図4 Windows Media Encoder V9 の制御画面

表4 Windows Media Encoder V9 の動作測定結果

bps 設定値	bps 測定値	CPU 使用率	fps
3M	2.91Mbps	65%	60
5M	4.93Mbps	70%	57.93
7M	6.94Mbps	85%	53.08
10M	8.32Mbps	80%	53.08

示す。同じく, 実際にライブストリーミングを行い, 測定された Windows Media Encoder の動作特性を表4に示す。同表において, 設定された伝送値に近いライブストリームがエンコーダから送出されていることが解る。また, 伝送レートの設定値が 10Mbps に近づくと CPU の処理能力の限界に近づき, 自動的にフレームレート及び伝送速度を落としている。

[Wowza Media Server の構築] [6.7.8]

以下に Wowza Media Server の構築手順を述べる。

- ①Windows Media Encoder V9 をインストールした PC にさらに WireCast をインストールする。これは H.264 符号化方式で映像の圧縮を行う Flash Encoder とコンパチブルで無償のソフトである。また, WireCast は Ustream で用いられる Producer Studio ソフトの原型と言われている。
- ②サーバー用 PC を別途用意し, Wowza Media Server 2.2.4 を導入する。以下にサーバー用 PC のスペックを示す。
 NEC Express 5800/110Ge
 OS:Windows XP Professional 32bit
 CPU:Intel Core2 Duo E8500 3.15GHz, メモリ 2GB
- ③Player として Wowza Simple Media Streaming をインストールし, 配信映像を再生する。

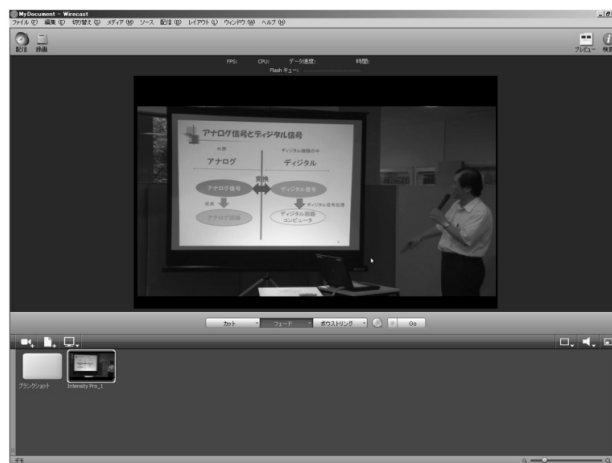


図5 WireCast の制御画面

表5 Wire Castの動作測定結果

bps 設定値	bps 測定値	CPU 使用率	fps
3M	1.58M	50%	59.94
5M	2.50M	55%	59.94
7M	3.50M	60%	59.94
15M	7.75M	66%	59.94
30M	15.13M	70%	59.94
40M	18.69M	73%	58.01

WireCast 上の制御画面の様子を図5に示す。同じく、実際にライブストリーミングを行い、測定されたWireCastの動作特性を表5に示しておく。同表において、伝送レートの設定値に対して、実際のライブストリームの伝送速度が半分になっていることが解る。これは、設定値がピーク値を示しているためであろう。また、Windows Media Encoderと同様に、CPUの処理量が70%を超えると、フレームレートなどを落とし、伝送レートを自動的に下げている。

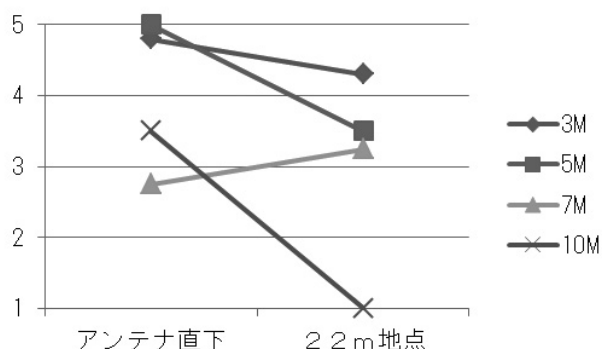


図6 Windows Media Serverにおける主観評価結果 (無線LANを用いたライブストリーミング時)

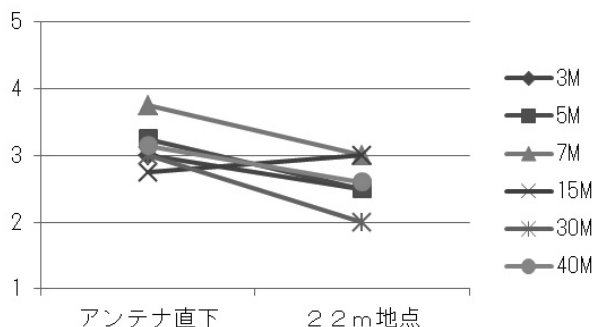


図7 WireCast & Wowza Media Serverにおける主観評価結果 (無線LANを用いたライブストリーミング時)

4. 2 ライブストリーミングの主観評価

前節で構築したプロトタイプシステムを用いて、実際にライブストリーミングを行い、映像品質の評価を行う。まず、有線LANを用いたライブストリーミング映像を検証する。Windows Media Server及びWowza Serverどちらの方式に於いても、学内のいずれの場所でも全くパケット損失の無い、綺麗な映像が配信先のクライアントPCで再生できることを確認した。これは、25Mbpsに帯域制御されたUDPパケットが損失無く伝送できるという3章の測定結果に一致している。

次に、無線LANを配信経路に組み込んだ場合の映像品質の評価を行った。無線LANは同じ基地局を共有する利用者が存在すると、その利用者との競合によりパケット損失が発生する。その為、全く他に利用者がいない深夜のメディアホールで映像品質の評価を行なうことにした。誰もいない深夜にメディアホールの無線LANに接続し、アンテナ直下、アンテナから22m離れた2つの地点でライブストリーミングを受信し再生する。その映像をHD映像の録画装置であるnanoFlashで記録する。Windows Media Encoderを用いた場合は、3Mから10Mまで伝送レートの設定値を変化させ、その映像を録画する。WireCastを用いた場合は、伝送レート設定値を3Mから40M(実測値は1.5Mから19M)まで変化させ、その時の映像を録画する。この録画したHD映像をAdobe Premiere CS5で編集し、主観評価実験を行う。映像品質について『1:最良, 2:良, 3:普通, 4:悪, 5:最悪』の5段階で主観評価を行った^[10]。なお、WiFiSiStrで電波強度の測定を行ったところ、アンテナ直下で-42dBm, 22m地点で-62dBmであった。Windows Media配信システムの主観評価結果を図6に、WireCastにおける主観評価結果を図7に示す。

図6及び7ともに、無線基地局からの距離が離れると、映像品質の主観評価結果が悪くなっていることが明らかである。基地局から22mも離れてしまうと、明らかにパケットロスが発生し、映像品質が劣化している。特に、ビットレートが高い設定のときに顕著である。実効伝送レートが3Mbpsの時に、どちらの方式においても22mの地点において主観評価値が最も高くなっている。また、Windows MediaとWireCastを比較して、Windows Media Serverによる配信の方が画質に関して若干に優れていることも明らかである。

5 HD映像によるUstreamへの配信

本学の青山貞一教授の退官に伴う、最終講義が2012年1月20日午後4時から行われた。青山教授のご希望で、最終講義の様子をUstreamで学外の関係者にもご覧いただくことになった。本キャンパスにおいて、Ustreamを用いた配信はこれまで何度か試みられてきたが、HD映像

を用いたトライは無かった。今回、できるだけ、綺麗な映像で配信を行いたいということから、HD映像での配信を行うこととした。

Ustreamによる配信は、Media Serverとして学外に設置されたサーバーを利用することになる。インターネットを用いたライブストリーミングであることも考慮し、映像の伝送ビットレートは2Mbpsに設定した。H.264符号化方式を用いることにより、精細な画像が得られる。また、2Mbpsという伝送速度は、最終講義が行われる3号館3階の33I教室から映像メディアセンターまでの伝送において全く問題なくストリーミングできる通信速度であることが本稿において確認されている。映像エンコーダソフトは、Ustreamに会わせて、Adobe Flash Live Encoder 3を用いることにした。エンコーダのみの利用は無償である。

最終講義の撮影には、SONY XDCAM PMW-EX3を用いる。映像記録用として1920x1080画素での撮影となる。これをHD-SDIで受け、エンコーダソフトでUstream用に1280x720画素に変換して送出する必要がある。Adobe Flash Live Encoder 3エンコーダソフトの負荷を事前に測定し、PCの仕様を以下の様に決定した。

NEC Expression 5800/GT110b

OS: Windows 7 Pro 64bit

CPU: Core i7 870 2.93GHz ターボブースト時3.6GHz
Video I/O: Black Magic DeckLink SDI

この仕様のエンコーダ用PCを当日33I教室に持ち込み、HD映像をUstreamのサーバーに向けストリーミングし、USTREAMによるHD映像の生中継を実現した。特に問題なく、HD映像が外部に配信できたことを確認した。

6 まとめ

帯域制御されたUDPパケットを用いたパケット損失の計測により、学内ネットワークの有線LANでは25Mbpsまでのライブストリーミングが問題無く実施できることが確認できた。このことから、現状の学内ネットワーク環境下でライブストリーミングを運用できることが明らかとなった。さらに、無線LANを利用した場合、無線基地局からの距離と共有する使用者の数がパケット損失に大きく影響を及ぼし、映像品質に影響を与えることが明らかとなった。さらに、UstreamへのHD映像のライブストリーミングも問題無く行えることを実証した。今後、HD映像を用いた学内ライブストリーミングの利用機会が増えることを期待する。

参考文献

- [1] 成澤昌輝, 「HD映像ファイルベースシステム構築とそのワークフローの検証」, 東京都市大学環境情報学部, 卒業研究論文, 2011年1月
- [2] Ustream, <http://www.ustream.tv/>
- [3] Microsoft TechNet, [http://technet.microsoft.com/ja-jp/library/cc731778\(ws.10\).aspx](http://technet.microsoft.com/ja-jp/library/cc731778(ws.10).aspx)
- [4] SOURCEFORGE, <http://sourceforge.net/projects/iperf/files/>
- [5] 無線LANの電波強度を小さな棒グラフで常時表示できる「WiFi SiStr」
<http://www.forest.impress.co.jp/article/2006/04/10/wifisistr.html>
- [6] Wowza Media Systems, <http://www.wowza.com/pricing/trial?gclid=CLXylNSy5KOCFaFmpgodekJe-A>
- [7] SLEEPING COELACANTH, http://coelacanth.heteml.jp/site/flash_wowza/article_1
- [8] MEDIA WORKS, <http://www.ymw.co.jp/wowzamedia/service.htm>
- [9] RealStream Inc, 「誰でも出来るストリーミング」
<http://www.realstream.jp/lecture/>
- [10] 宮川洋, 「テレビジョン画像の評価技術」コロナ社, 1986年