

PC/HD 互換 2K 上映システムの開発

小林 憲 夫

Development of Computer and High Definition Video Compatible 2K Projection System

Norio KOBAYASHI

HDTV (High Definition TV) はその解像度において完全に PC と互角の地平に立つことになったが、実際に HD 関連機材を PC の世界に活用することはかなりの困難が付きまとう。それは HD 技術が映像の高品位表現を軸とした仕様であり、PC のそれのようにデータの生成と多角的な利用とを前提にしたものとは、その性格において根本的に異なることが原因である。本論文は、駒澤学園記念講堂における HD プロジェクションシステムを開発したプロセスを通して、HD と PC とのシームレスな連携を達成するために必要な知識と技術を整理し問題点を明確にすることで、大学教育における映像とデータの有効な活用を実現する礎となるものである。

1. はじめに

日本と米国の共通である NTSC テレビ規格は、長らく 525i と呼ばれる 640×480ドットに相当する解像度のまま普及してきた。それに対して PC (パーソナル・コンピュータ) は、その登場の初期の段階でこそ汎用のテレビ表示装置を利用した VGA (640×480ドット) 解像度であったが、その後まもなく UGA (Ultra Graphic Array, 800×600ドット)、XGA (eXtra Graphic Array, 1024×768ドット) へと移行し、現在でもノート PC ではこの解像度が一般的である。

一方デスクトップ PC ではディスプレイが分離しているためサイズの制限から解放され、17インチから19インチ対応の SXGA (Super Xtra Graphic Array, 1240×1024ドット) から20インチ画面サイズとなる UXGA (Ultra Xtra Graphic Array, 1600×1200ドット) までへと短期間に進化するにいたった。

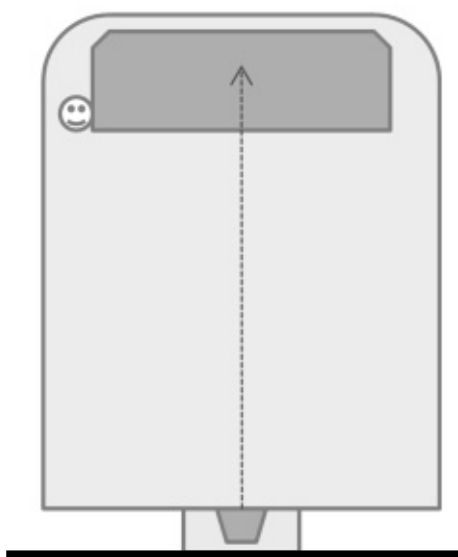
これほど急激な高解像度化を達成した PC に比べ、テレビは1950年代の放送初期に設定された 525i と呼ばれる規格を長らくそのまま使い続けてきた。この規格はアナログインタレース (飛び越し走査) というテレビ開発当時の送信フレーム数の制約に基づいた規格であるが、垂直方向の走査線の本数は決定されていたが水平方向は比較的自由度の高い時代に即した拡張性を持つ優れたものであった。その結果、その後40年経過したデジタル放送時代を迎えても大きな変更なく利用することができたのである。技術の進歩により、水平解像度は放送標準である 340本レベルから DV (Digital Video) 規格となる 720本まで暫時増大してきたが、垂直方向の解像度 (走査線解像度 525本、実質解像度約 480本) は受信機の互換性を守るために変更されていない。1990年代にはワイド化が登場し画角が 16:9 のワイド画面になったが、基本解像度に変化はなく 720×480ドットという SD 解像度の最大規格のままスクイーズ処理 (左右圧縮) することで

ワイド画面に対応させたのである。

VHS および LD などのアナログ記録メディアはもとより、DVD などデジタル記録媒体においてもこの手法は踏襲され、映画のワイド映像をそのまま SD 解像度でスクイーズ収録したパッケージが一般的となっている。今日、映像を転送するという場合は、こうした圧縮 SD 規格の映像を何らかの方法で通信ネットワークを経由してデータ配信することを意味している。今回、駒澤学園では記念講堂に映像プロジェクション装置を設置するに際し、従来のように SD 画像を投影するのではなく、HD 解像度を維持したまま転送・出力するシステムを構築することで PC との円滑な連携を目指した。しかし放送用として発展した規格と PC の高解像度を両立させることは困難であり、映像転送かデータ表示かの二者択一を迫られる。

2. システム導入の条件

今回、記念講堂に導入を計画した映像システムは、下図のように講堂内に既設の映写室（ブース）を利用し、そこに映像プロジェクターを設置し正面の舞台後方に吊下げられた250イン



チシネマスクリーンに投影するものである。しかし映写室には専用の人員を配置することができないため、映像を利用する場合には舞台上の講演者自身が映像機器の接続や操作を行わなくてはならない。このワンマンオペレーションを実現するには、舞台の袖にすべての入力および操作機器を設置し、リモートコントロールでプロジェクターを操作する必要がある。このときに操作者から映写室内のプロジェクターまでの距離は配線レイアウトを考えると200m 近くになるため、映像信号を如何に低損失で伝送するかが課題となる。

入力機器からプロジェクターまでを200m の信号線を引きまわして、映像品質はどの程度影響を受けるものであろうか。実は2年前から記念講堂の入学式典の様子を階下の小ホールに同時中継する試みを行っており、150m の同軸ケーブル(S-5C-FBL)にコンポジットビデオ信号を流すという荒っぽい方法を採用している。その結果、アナログ信号とはいえ100m を超えると画面が暗くなるだけでなく解像度も荒くなり、せっかくの式典の印象は決して良いものとは言えない状況であった(注1)。こうした経験から、今回のシステムではアナログ信号を可能な限り多線化しノイズに強い極太同軸ケーブルの使用

注1：同軸ケーブルのグレードと損失は以下の数値になる。1～2 bd の損失で画質は大きく異なる。通常の配線では4 C もしくは5 C が使われる。

グレード	JIS 表示	損失(UHF,100m)
VHF 用	3C-2V	保証外
低損失 UHF 対応	3C-FV	32dB
低損失 UHF 対応	5C-FV	21dB
低損失2.6GHz 対応	S-4C-FB	24dB
低損失 BS 対応	S-5C-FB	19dB
低損失 3 重シールド	S-5C-FBL	19dB
低損失アルミラミネート	5C-HFL	15dB
低損失アルミラミネート	7C-HFL	8dB
低損失アルミラミネート	10C-HFL	6dB

が検討された。しかしケーブルが複数本となり引き回し上配線が露出する部分もあるため美観の観点からも困難であった。

3. 映像転送の課題

かつての本大学における映像設備は、PC 信号用と映像信号用とを別々に扱うか、あるいはどちらか一種類しか表示できないものであった。映像信号用は、SD 解像度の映像をそのまま専用のケーブル（いわゆる75Ω同軸線）でアナログ転送し、映像入力端子からプロジェクターなどの表示装置に取り込んでいる。しかしこれではPC入力を併用する場合は、高解像度のPC出力をビデオ信号にダウンコンバートして品質を下げなくてはならず、PCの性能を発揮させることができない。そこで現在大学の多くの教室で導入しているのが、PCからダイレクトに接続するPCの高解像度を生かした表示方式である。PCは最大解像度がDVI（Digital Video Interface）で1920×1200pixelであり、HD映像解像度（2250×1125pixel）とほぼ同じとなるので、このままHD映像信号とデジタルで統合することができればHD映像転送システムは完成することになる。しかしサイバーキャンパス化で新規設置された「ユビキタス教場」ではケーブル長の関係でデジタル線は使わず、PCに挿入した1260×1024pixelのビデオカードに16：9表示させた画面をそのまま業務用ワイド液晶ディスプレイにRGB接続し、映像はPCのDVDドライブで再生する手法を取ってパソコンと映像との折衷を図っている。

またPCは解像度的には高いものの、基本的に諧調の不足するビデオカードで映像を再生した場合の映像品質はかなり低下することを覚悟しなくてはならない。100インチクラスの大型スクリーンに上映するのであれば、映像再生はやはり専用の映像機器を利用するのが望ましく、

下図のようにPC用（左側RGB 5線）と映像用（右側コンジット同軸線）に分離するのがまだ一般的である。またPCの出力をそのまま表示するデータプロジェクターは1080のフルHD解像度をアナログRGBで実現できる製品が存在しない。HD解像度を投影できるのは、2Kと呼ばれる映像表示用（映画館用）のプロジェクター（以下HDVP=High Definition Video Projectorと呼ぶ）であるが、その場合はデジタル信号であるDVI出力が要件となるため、アナログ信号と異なり距離がとれずPCを直接HDVPに接続できる環境で使用しなければならない。すなわち記念講堂での設置ではブース内への人員配置が必要となる。



4. HDTV 表示装置の現状

HDTVはかつて「ハイビジョン対応」と名打った1260×756ドットクラスの準HDTVが存在した過渡期を経て、現在では1920×1080ドットのフルハイビジョンスペックを達成している機種が一般的になりつつある。この解像度から考える限り、PCの画面表示システムとしてHDTVを流用できそうな気がするが、現実にはPCからこのHD解像度を利用することは不可能である。PCからの接続形態としては、アナログRGBを利用することと、デジタルDVIを利用する二種類があるが、いずれかにも関わらず利用できる最大解像度はSXGAないしWXGAがせいぜいである（実はそれは映像表示装置のコピープロテクト技術との連携の必要上からであるが…）。現行のHDTVにおける

PC 対応表を以下に掲載した。せっかくの高解像度が PC では生かせないことがわかる。最近では PC テレビともいうべき、映像表示可能なディスプレイを使いながら PC モニターとしても使える HDMI 対応機種が登場してきたが、HDVP と組み合わされたシステムは存在しない。

型番	メーカー	画面サイズ	PC 入力端子	最大解像度
KDL-52W5000	SONY	52 インチ	DVI	SXGA
LC-65RX1W	SHARP	65 インチ	DVI	SXGA
TH-65PZ750SK	Panasonic	65 インチ	RGB	SXGA
57Z3500	TOSHIBA	57 インチ	DVI	WXGA

HDTV の映像入力への対応は極めて豊富である。SD 対応としてコンポジットビデオ端子、S 端子はもとより、D 端子 (D 1 ~ D 4)、コンポーネント端子などのアナログ入力端子が完備され、さらに HDMI (High Definition Medium Interface) と呼ばれるデジタル端子も複数装備されていることが多い。HDMI はデジタル端子であるが、HDCP (High-bandwidth Digital Content Protection system) というコピープロテクト目的の著作権保護技術が使われており、認証された HDMI 端子同士でしか映像信号を転送できないというやっかいな端子である。したがって、デジタル端末同士だからと言って HDMI 端子をそのまま DVI 端子にダイレクト変換しても、映像信号は送られない。結局、HDTV は著作権保護のない PC の出力のデジタル信号なら DVI を HDMI に変換することで 1920×1080 のフルスペック解像度を利用することができるものの、これを標準接続としてしまうと著作権保護のかかった HDCP 仕様の映像信号は伝送できないことになる。結論としては、入力を切り替えずに統合的に利用する汎用システムとして構築する場合には、現時点ではデジタル入力端子は使えないのである。

5. HD ネットワーク転送の技術

そこで考えられるのがデジタル信号の損失を補うことのできる LAN 通信ネットワークに映像信号を乗せる方策である。両端にサーバーを配したデータ転送形式でない、シングルキャストによる映像信号の配信目的でネットワークを利用した場合、映像の持つ転送レートをネットワーク転送でどのように維持するかという問題点と、そのために必要な圧縮アルゴリズムへのリアルタイムなコンバートを実現できるかという課題が存在する。本学のユビキタス環境のネットワークは光ファイバーを利用しており、伝送容量および距離に関しては問題ない。もう一つの課題である圧縮アルゴリズムについては、アナログ信号をデジタル変換する専用のエンコーダとデコーダをネットワークの両端に設置することで、ロスレス独自圧縮を実現し映像品質への影響を排した転送は理論的には可能である。しかしそれを今回のシステムに利用することはできない。いかにエンコード・デコードの時間が短くとも講堂という「ひとつの部屋」ではタイムラグを認めるわけにはいかないからである。したがって、IP 配信は他教室に中継するための技術として活用しつつ、講堂内での伝送方法としては使わないという結論になった。

ここでもうひとつの課題である、HD 映像の記録保存と再生の形式について述べる。可搬性を重視するのであれば PC に保存するのではなく、いったんメディアに記録保存してそれを再生装置で 1080 出力するというプロセスを経由せざるを得ない。したがって、この場合においてのハードルは、映像もしくは PC にかかわらず HD 映像をどのような媒体に保存するかということになる。もちろんこの場合の有力候補は、現在熾烈な市場競争が行われつつある次世代 DVD である。次世代 DVD は、媒体自体がまだブルーレイ (Blue-Ray) 陣営と HD-DVD 陣

営が対立しもう少し経ないと今後の見通しが立たない状況であり、さらに圧縮記録方式についても標準化がされておらず HD 記録メディアは当分の間様子見の状態である。本学の授業で使われているのは HDV と呼ばれる家庭用の規格であり、フル HD ではない(注2)。将来的にはフル HDTV に移行することは明確であるが、HDV との互換性を維持しつつ最終記録メディアが標準化されていない現状に対応する方策として、HDD に記録するという暫定措置が考えられる。

HDV で撮影された HD 映像は、編集するソフトによって独自の編集用コーデックに変換されているが、それを保存用として Mpeg2 TS ファイル、Windows Media Video HD (720P) もしくは AVC-HD H.264 (1080i) などの HD 対応ファイル形式で保存している。これらいずれかのファイル形式にするかという点は、本学の PC からの標準送出 HD 形式をどのように

規格	圧縮形式	転送レート	解像度
HDV	Mpeg2-TS	25Mbps	1440×1080i、1280×720P
XDCAM	Mpeg2 MP@HL	35Mbps VBR	1920×1080P
AVC intra	Mpeg4 LongGOP	35Mbps	1920×1080
AVCHD	Mpeg4 AVC/H. 264	～24Mbps	1920×1080、1440×1080
WMVHD	Mpeg4	～15Mbps	1280×720P

注2：HDV とフル HD の関係は民生用ではかなり曖昧になっている。例えばフル HD 規格のレコーダーでもメーカーによってスクイーズ (1440×1080) で記録している場合もある。このように HDV 規格は、SD の 16：9 が 4：3 でスクイーズ記録されているのと同様にフル HD のスクイーズ仕様とも言える。実際に HD 放送を謳っていても1440解像度で送信している場合も多いのである。以下は家庭用 HD カムコーダの HD 記録フォーマットである。圧縮記録では解像度より転送速度が画質に与える影響が大きいのが理由であろう。

メーカー	録画モード	記録モード	再生モード
SONY	XR15M	1440×1080	1920×1080
	XSR12M	1440×1080	1440×1080
Panasonic	HG12.9M	1920×1080	1920×1080
	HX8.6M	1440×1080	1440×1080

するかにかかっている。後述するように、現在は PC からの直接的なアナログ出力は解像度的に不可能であるため、再生状況における距離的制約を考えると再度 HDV テープに書き戻して HDV デッキからコンポーネント出力する手法が有力となる (左下図参照)。

6. 映像制作プロセスとの整合性

本学の映像制作の科目では現在、従来の解像度である SD (Standard Definition) と、家庭用のハイビジョン規格である HDV (High Definition Video) の二種類が流通している。HDV 規格の解像度は1440×1080ドットであり、HDTV の1920×1080ドットの放送機器に HDV を表示させる場合は、単位となる画素を横方向に引き伸ばした長方形画素へと変換し、1920×1080の16：9ハイビジョン表示としている。また本学は SD もしくは HDV で撮影編集しているので、ノンリニア編集ソフトにキャプチャし編集するのも HDV 解像度である。したがって1080i/60の解像度をそのまま PC からアナログ出力すれば、ユビキタス教場と同様に PC だけで HD 映像にも対応したシステムが構築できる。カノープス社の EDIUS やアップル社が提供する Final Cut Studio のシステムでは、適切な映像入出力ボードと組み合わせることで1080i 信号をアナログコンポーネント出力することが可能である。このボードを装備した PC を持ち込めば、編集ソフトのタイムラインからダイレクトに出力した HD 転送による高解像度表示が実現できる。しかし特定のソフトウェアに依存した PC システムでは、オペレーターが不特定である記念講堂の運用でワンマンのペレーションを実現することは難しい。

ここまでで、ワンマンオペレーションを達成するには、どうしても舞台袖にシステムを設置する必要があり、信号線をシンプルにするため

には従来のように PC ベースでなく HD1080 ベースに統合するのが最適であるという結論になる。そこで映像および PC 入力機器としては従来（教室で使われているという意味）と同様のシステムを設置し、それをすべて1080i/60のアナログ HD 信号にアップコンバートする装置（メディアコンバータ）でコンポーネント信号に変換する手法を考案した。一般的な PC の接続用としては SXGA までの対応で十分であると考へ、HD 信号はアナログ1080であればそれほど高価なコンバータは不要である。HDVP をリモート操作する場合は入力切り替え時の同期ずれは上映映像品質（雰囲気）を損なう恐れがあるので、フレームシンクロナイズ機能を備えたスイッチャとして Roland 社の V440HD(下図) という製品が最適と判断した。もちろんスイッチャであるためボタン類は多いが、実際に利用するスイッチだけをマーキングしておけばワンマンオペレーション時にもそれほど迷うことはないと判断した。



最大の課題は、200m 近くある HDVP までの距離の克服である。ここでデータ転送用としか活用されていない光ケーブルの新しい利用法を思いついた。これまでの発想とは異なり、光ケーブルをデータ転送用ではなく純粋に信号伝送用として利用するのである。光ケーブルの映像信号利用は放送業界ではすでに始まっており、

近い将来はカメラと中継機器、中継機器と送出機器間はすべて光ケーブル化されると見込まれている。しかし放送用は信頼性を重んじる（転送ロス0%）ため光ケーブルと雖もかなり太くなり、見かけ上アナログ同軸線と大きな違いはない。今回は最終出力信号であるのでそれほど伝送ロスに配慮する必要はなく、FOX500という光コンバータ（光変換・復調モジュール）を採用することにした(下図)。この光コンバータは A/D 変換（デジタル化）機能を装備しているので、アナログ信号をそのまま入出力できる。ただし信号形式は RGB なので、入力前段にコンポーネント/RGB 変換をかませた。



本学記念講堂に構築した HDVP (HD プロジェクションシステム) の配線図を最終頁に示す。メディアコンバータ以降が二系統であるのは、導入した HDVP (NEC HL16000HD) の2K 表示パネルの特性を生かした1K×2画面表示が可能である機能を活用するためである。スイッチャを活用して、PC 画面と映像を並列で表示させるプレゼンテーションは、将来的な活用領域として大いに期待が持てるであろう。光コンバータ間の光ケーブルもそれぞれ二系統まで接続できるので、メイン映像信号に一本、HDVP 制御信号用に一本、サブ映像信号(二画面表示用)に一本を使い、あと一本を予備として残してある。また費用的な点からこの光コンバータは1600×1200までの解像度しかサポートしていない製品となったので、正確に表現すれば1080信号はリサンプリングされており2K 信号ではないが、設置後の投影試験では HDTV の解像度は十分に再現できていることが確認された。光

ファイバーのロスが少なさやシステム全体のシンプルさが良い結果となったようである。なお、音声に関してはすでに音響室をリニューアル済みであったので、本システムでは全音声出力を単にミックスして音響室に送るだけの仕様とした。

7. 統合システムとしての課題

PC と HDTV とを併用可能なシステムを、現時点で私は「1080転送」と呼んでいる。それは PC の信号については、その解像度にかかわらず1920×1080の解像度にアップコンバートして HDTV アナログ信号として表示装置に送り込んでいるからである。理由としては HDTV が解像度的に PC より有利であるからではなく、1080i (60フィールドインタレース) が現時点としての最高の解像度だというだけである。今後 1080p (60フィールドプログレッシブ) が普及してきたときには、PC 表示との整合性という意味でももちろんそれを採用するであろう。しかしアナログコンポーネント (Y、Cb、Cr) 接続による1080解像度を利用している本当の理由は、すでに述べたように PC からのデジタル信号を利用できないためである。今回のシステムのように光コンバータを経由するのが前提となればデジタル信号であるハンディは解消されるが、DVI 信号はデジタル故に通常のアップコンバータでは対応できず、映像信号と統合しようとする場合には PC からのアナログ RGB 信号しか使えない。

一方映像信号側でも今後映像転送システムが HD に特化してくるにつれ、デジタル記録のままの非圧縮伝送である HD-SDI (Serial Digital Interface) が一般的となると考えられる。幸いなことに HDVP 側は HD-SDI 10ビット 4 : 4 : 4 にも入力対応可能であり、PC からの高解像度信号を受け取るための DVI デジタル信

号も HD-SDI 変換により統合できる。ただ民生用機器では HDTV デジタル伝送の規格として HDMI が支配的になりつつあることが大きな問題である。本学のような規模では映像システムとして HD-SDI や HDCAM を導入することは困難であり、HD 映像記録媒体としても BD を利用せざるを得ない。現在、次世代 DVD プレーヤーなどで1080アナログ端子を廃し HDTV 出力を HDMI デジタル出力のみに絞る方向が高まりつつある。こうした動きに対し、当面は DA コンバータなどにより1080変換するとしても、著作権保護のために HDCP など多くのセキュリティ対策が施されている HDMI デジタル入出力の取り扱いには大きな困難が予想されると考えられる。

駒澤学園記念講堂映像上映システム系統図

