



## ビデオ／オーディオのQoE (ユーザ体感品質) 測定

今日のデジタルTV放送は、さまざまなソースを元にして、数多くの装置を経由して最終的に視聴者に届けられます。放送素材に問題がなくても、素材が通過するさまざまな装置に障害があり、ビデオに影響を及ぼすことがあります。素材に劣化が起こると、視聴者によるQoE (Quality of Experience、サービス体感品質) に影響を及ぼします。このような信号劣化はコンテン

ツの性質により発生したり、ランダムに発生したり、また定常的にQoEが低くなることがあります。コンテンツ品質が劣化する原因はさまざまです。ここで重要となるのは、ネットワークのさまざまなポイントで番組を客観的にQoE評価し、いつ、どこで劣化が発生したかをピンポイントで知ることです。

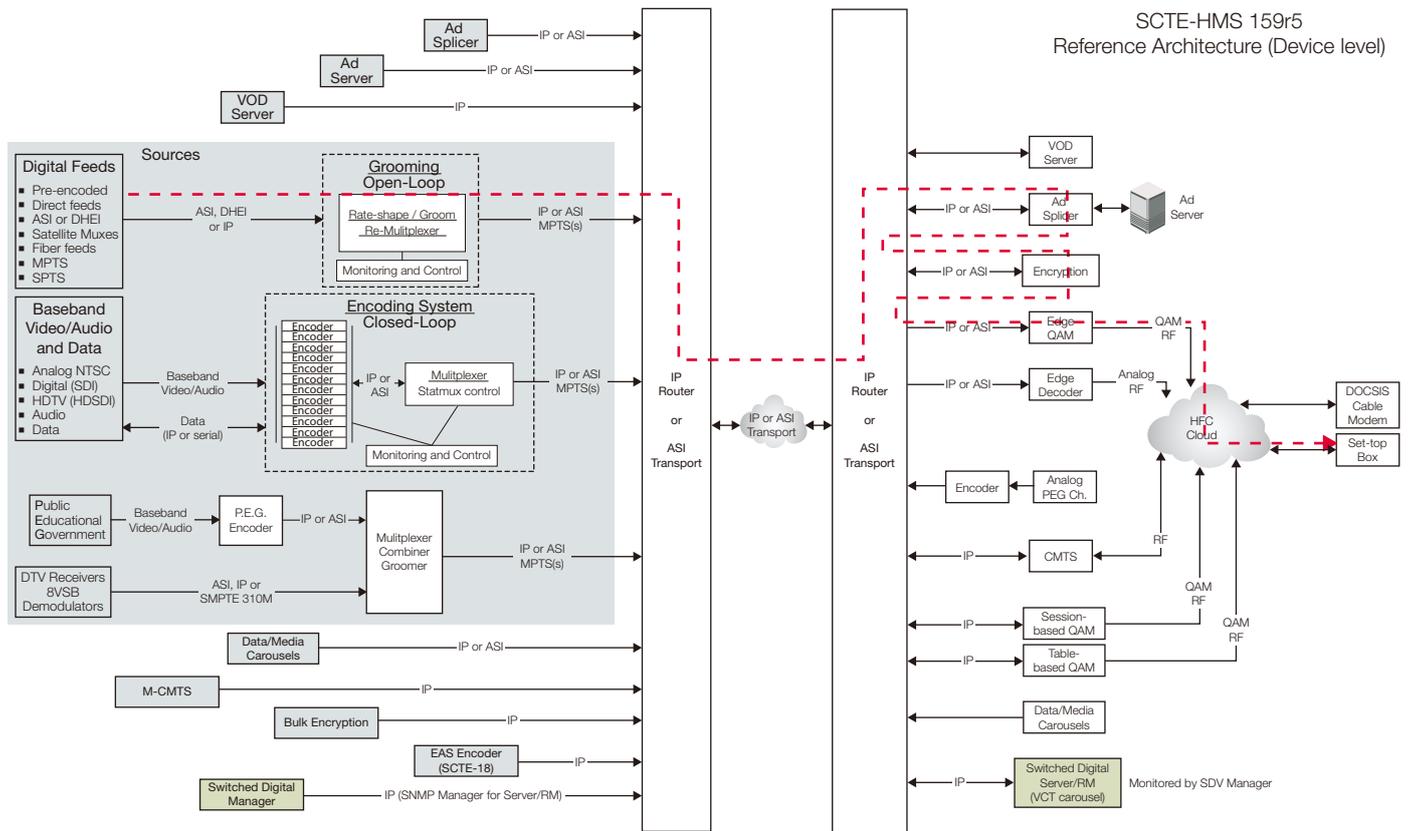


図1. 入力、リマルチプレクス、伝送、インサージョン、エンクリプション、変調を含む、代表的なケーブル・アーキテクチャ (SCTE 168-6より)

## 技術背景

### オーディオ・ラウドネス

テレビ・チャンネル、番組、広告におけるオーディオ・レベルは一定であるか、少なくとも互いに同じ程度のレベルでなければなりません。しかし、経験上では、リモコンでオーディオ・レベルを調整しなければならないことがあります。このレベル差が非常に大きくなってきたため、世界各国は法制化によって通常のレベルに戻すことを検討しています。時間に伴うこのオーディオ・レベルを客観的に、かつ正確に測定するためには基準となる規格が必要で、現時点では次の規格が採用されています。

1. ATSC A/85<sup>5</sup>勧告
2. ITUの勧告1770<sup>6</sup>と1771<sup>7</sup>

昨今、デジタル・テレビのオーディオでこの新しい勧告が利用できるようになり、オーディオ・ラウドネスを客観的に、正確に測定できるようになりました。

### 主観的ビデオ評価

ビデオ品質を評価する方法の一つが、人間による視聴です。この方法は、非常に時間がかかり、評価者間での一貫性をとるのがむずかしいという問題点があります。評価結果の違いは、コンテンツや評価者の感覚以外に、STB (セットトップ・ボックス) の機種、STBのファームウェア・バージョン、TVの近くにある照明、オーディオ処理およびディスプレイの種類 (プラズマ、LCD) などによって異なります。また、どの視聴者も、画質の良し悪しに関してそれぞれの先入観があります。長時間画質を評価するのは骨の折れる作業であり、すべてのフレームのすべての領域を監視するのは困難なことです。ほとんどの人は、興味のあるものに集中するため、複数の視聴者が同じコンテンツを見ても、全員が正確に評価するのは困難です。このような差があるために、ネットワークの異なるポイントで等しく素材を評価することはできません。したがって、素材を客観的に評価する最も良い方法は、広範囲なネットワークにおいて、各フレームをリアルタイムに、かつ再現性のある方法で監視するデバイスを使用することです。図1<sup>11</sup>は、入力からセットトップ・ボックスまでの伝送路で、ビデオ・ストリームに影響を及ぼすデバイスを示しています。

### ダブル・エンド・ファイル・モード

もう一つの方法は、ピクチャ・クオリティ・アナライザ<sup>2</sup>の使用です。このようなデバイスを使用する利点は、リファレンス・ファイルを使用して受信コンテンツの変化を比較できることです。この方法は再現性があり、客観的な評価を得られますが、現状ではライブ・ストリームをリアルタイムに実行することはできません。

### 客観性とリアルタイム

新しい方法として、デコーダとシングルエンド・ビデオ・クオリティ・アナライザを1台に組み込んだソリューションが登場しました。このソリューションは、高速サーバ・プラットフォームでVoIPを受信し、MPEG-2またはH.264のストリームをデコードすることで、再現性を持った、客観的な評価をリアルタイムに実行することができます。この機能を搭載したデバイスで重要な測定ポイントをモニタすることでネットワークの問題を検出する理想的なシステムを構築することができます。

### QoEの測定手法

セットトップ・ボックスでデコードする方法は実際のサービス形態に近いという利点はあるものの、実際に使用されているセットトップ・ボックスにはメーカーによる機種の違いや、同一機種でも異なったファームウェアのバージョンが存在するなど、出力される結果が大きく左右され、再現性のある評価は非常に困難です。また、どのセットトップ・ボックスにもエラーを見えなくするための機能があるため、発生している障害による影響を検出して測定を行うことができません。さらに、セットトップ・ボックスのアナログ出力はビデオ品質が劣化するため、ビデオ品質を正確に測定することが難しくなります。したがって、暗号化、変調の直前でリファレンス・デコーダを使用することでより正確な測定が可能になります。

MTM400A型とリモート・モニタリング・プローブ・ファミリは、伝送路においてRF、IPおよびTS階層を測定することができます。この階層での測定は、QoS（サービス品質）の評価には適していますが、伝送されるコンテンツ（映像・音声）を測定できないため、実際のQoEは測定できません。さらに、番組のQoEを理解すると共に、ネットワークの2点間の劣化のレベルを理解する必要があります。

ネットワークに配置したMTM400A型のバックホール・アプリケーション<sup>3</sup>を利用することで、各ポイントからリモートでコンテンツを収集することができます。ネットワーク上で問題箇所を特定するためには、常用ポイントにMTM400A型またはIPM400A型を配置してQoSが維持されていること（伝送エラー、パケット欠落の有無）を測定し、さらにQoEをモニタする番組を選択します。選択された番組はバックフォール機能によりVQS1000型サーバに送られ、QoEを評価します。この方法では、特定のサービスのQoEをさまざまなポイントのネットワークにおいてモニタすることができます。ヘッドエンドでは、番組の再配信を行う目的などで広告の挿入後にMPEG-2からH.264へのトランスコードを行います。この前後などは重要な測定ポイントになります。

### 動作原理

QoEソリューションはVQS1000ビデオ・クオリティ・ソフトウェアをベースにしており、ベースバンドのビデオ・フレームのビデオ・エレメントをフル・デコードし、フリーズ、ブラック、ブロック歪みを検証します。この測定は、ネットワークの終端で視聴者が視聴する番組の画質を測定するだけでなく、配信ソースから供給されるビデオ品質を評価するのにも使用されます。ネットワーク全体のQoEの評価を高く維持するためには、入力される素材のQoEを評価することも非常に重要になります。

QoE評価を行う場合、画質の良否を判定するため、2種類のスレッショルドが有効です。1つのフレーム劣化が発生する事象と、数フレームあるいは数秒間において劣化が続く事象は異なった原因による問題である可能性があるため、これらを識別できる機能は原因究明において有効です。

MPEG-1、MPEG-2、MPEG2AAC、MPEG4AAC、Dolby Digital(AC-3)のオーディオ・レベルを測定するため、VQS1000はフル・オーディオ・デコードを実行し、ITU 1770/1771の勧告に準拠して4倍のオーバーサンプリングで真のオーディオ・ピーク・レベルを測定します。次に、ATSC A/85のデフォルト、EBU P/LOUDグループのデフォルト、またはDial Normレベルと短期間のウィンドウ時間のマニュアル設定にしたがってラウドネスを測定します。

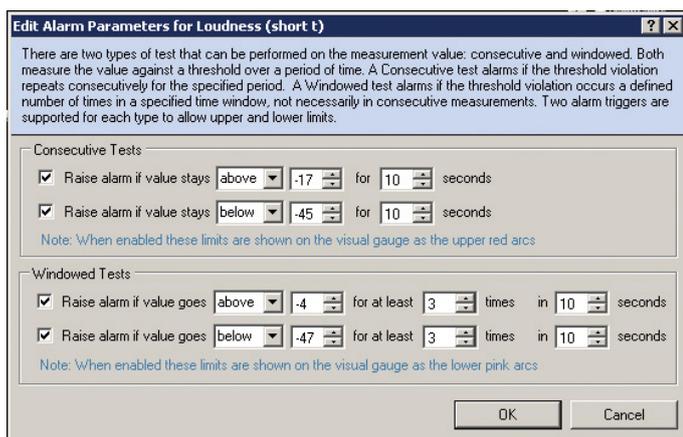


図2. アラームの設定メニュー

### トリガ／アラーム条件の設定

すべてのビデオとオーディオのリミット・テストのアラーム設定メニューを図2に示します。それぞれのテストでは、設定された期間において2種類のレベルをチェックします。図2の例では、次の条件を設定しています。

1. -17LKFS以上が10秒以上続いたならばアラームを発行する、または
2. -45LKFS以下が10秒以上続いたならばアラームを発行する、または
3. -4LKFS以上が10秒間で3回以上発生したならばアラームを発行する、または
4. -47LKFS以下が10秒間で3回以上発生したならばアラームを発行する

上記のいずれかの条件が一致すると、オーディオまたはビデオ・イベント・キューにイベントが書き込まれ、SNMPトラップがMTM400A型に戻され（接続されている場合）、PCのディスクに64MBのトランスポート・ストリームが記録されます（可能な場合）。また、トリガされるテストにより、VQS表示の右上にあるテスト・メータが緑から赤に変化します。



図3. 黒が非常に多いビデオ・フレームの例

### ブラック・フレームのトリガ

VQS1000は、ブラック・ビデオ・フレーム、フリーズ・ビデオ・フレームを検出します。人間が長時間モニターを見続けなければ発見できないようなブラック・ビデオ・フレームについて、ブラックのレベルと継続時間を条件設定し、閾値を超える状態をトリガできるように監視することが可能です。

VQS1000ビデオ・クオリティ・ソフトウェアは、ブラック・フレームを検出するためビデオ・フレームごとにベースバンド信号にデコードします。選択されたフレームの領域においてルミネンス・レベルを測定し、リアルタイムにグラフ化、トリガ条件により測定結果のロギングを記録します。測定1秒ごとに1ポイントがプロットされます。例えば、29.97Hzのビデオ・エレメントでは、およそ30フレームのビデオごとに1ポイント（最大値）がプロットされます。ブラック・ビデオ信号がスレッシュホールド・リミットを越えたことが検出（低いルミネンス・レベル）され、継続時間などのトリガ条件が適合すると、LEDが緑から赤になります。このイベントは同時に、SNMPトラップによりリモートMTMプロンプに送られ、ロギング、レポートなどが記録されます。図3は、画面のほとんどが暗い部分（右のウィンドウでは緑のブロックになっている）ですが、100%の黒レベルにはなっていない番組の例を示しています。ビデオ・フレームが完全に暗くなると、右のウィンドウは完全に緑になり、グラフのピークも100%になります。ライブ・ビデオや映画ではこのような状況が頻繁には発生するため、トリガのスレッシュホールドを長時間（15秒、10分など）に設定することが重要になります。

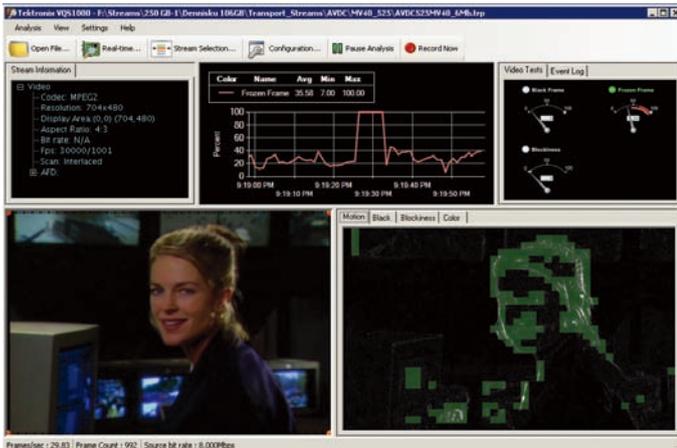


図4. ある程度の移動（前面）と数秒間移動のない履歴例

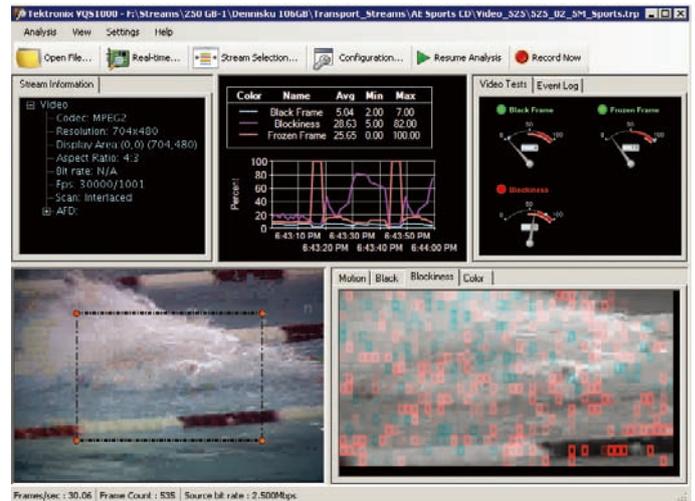


図5. 過圧縮ビデオ

### フリーズ・フレームのトリガ

VQS1000でフリーズ・フレームを測定するには、連続した2つのビデオ・フレームを比較する必要があります。2つのフレームの差は垂直方向にプロットされ、0%はまったく異なっていることを、100%は同一のものであることを意味します。VQS1000は、フレームからフレームへの移動量を測定してフリーズ・フレームを決定します。移動が止まると、フリーズ・フレームの量は100%になります。図4は、静止した背景において、前面で移動が発生しています。移動が検出されたブロックは、緑にハイライト表示されます。また、図のグラフでは過去60秒間の履歴が示されており、過去において移動が止まり、フリーズした事象を検出したため、グラフの数値が100%まで上がっていたことがわかります。

ブラック・フレームで説明したように、フリーズ結果は蓄積され、グラフ、トリガ、ロギングで使用されます。フリーズ・フレームは、ブラック・フレームと同様にビデオ・プログラム中に頻繁に発生するため、素材に合わせてスレッシュホールドと時間間隔を適切に設定することが必要です。

### ブロック歪のトリガ

ビデオ・エンコーダは、デコードされたビデオにブロック歪みが見えないようにエンコードしますが、動画映像の内容は刻々と変化し、素材が動けば動くほどエンコードは難しくなります。このため、ブロック歪みの変化するレベルをビデオ・フレームごとに測定することは重要になります。VQS1000は、ビデオ・フレームごとに選択された領域で8×8ブロックを測定します。4×4または16×16のブロック・サイズにすることもできます。ブロック歪み測定は、デコードされたビデオ・フレームごとに計算されます。各フレームの選択された領域はいくつかのセクションに分割され、重なったセクションのブロックのブロック歪みが評価されます。隣り合ったブロック・エッジは、ルミノサンスの振幅差が測定されます。差分はグラフの垂直軸上でプロットされ、0%はブロック・エッジが非常にスムーズであることを、100%はブロックの境界で映像が大きく異なっている（過圧縮、スライス・エラーなど）ことを意味します。緑のブロックが重なっているブロック・ウィンドウ、フリーズ・ウィンドウと違い、ブロック歪みウィンドウでは赤とシアンのハイライトによりブロック間の微小なステップを示しています。明るい色はトランジションが大きいことを、背景が暗い場合は赤に、ビデオが明るい場合はシアンになります。図5は、圧縮レートが高いスポーツ・イベントの例です。赤とシアンのブロックが多く、高いブロック歪みのグラフになっています。

ブラック、フリーズと同様、各サンプルはプロットのためにロギングされ、トリガ、ロギング、条件の記録のために使用することができます。

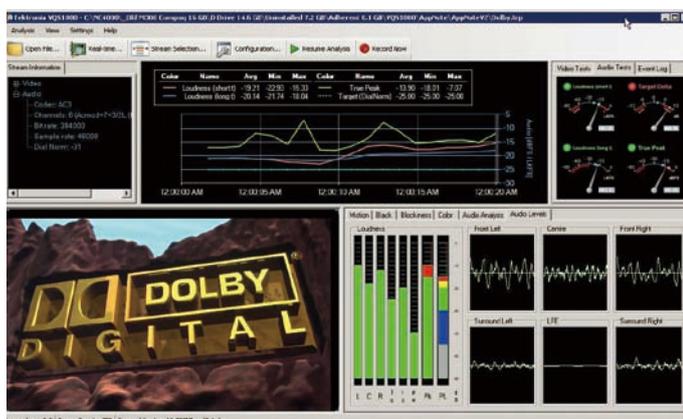


図6. デコードされたビデオとともに表示されるDolby AC-3のチャンネル・レベル、ラウドネス、真のピーク、DialNormのグラフ

今日のデジタル・オーディオは、非常に広いダイナミック・レンジを持っています。すべての放送局、コンテンツ・プロバイダが同じDialog Normalization値（ダイアログの平均レベル）を持っているわけではないため、チャンネル間またはコマース間であっても、切り替わることでオーディオの平均レベルが大きく変化することがあります。時間とともに変化するレベルを詳細にモニタするためには、True Peak、Short Term Loudness、Long Term Loudnessを設定することで時間とともに変化するオーディオ・レベルをより客観的に測定できます。

図6の例では、VQS1000により -45~-17LKFSのShort Termリミットでオーディオ・レベルを測定しています。VQS表示の左上では、デフォルトの入力DialNormが-31LKFSに設定されています。この例では、グラフ・メニューに表示されているように、この値がマニュアルで-25に設定されています。「PK」のバー・グラフを見ると、この瞬間において-10dBFSのTrue Peakレベルに約5dBFSの部分が赤く表示されています。これは、パラメータ設定で設定された-15dBFSを5dB超えていることを示します。

この例では、「PL」のバーはさまざまなカラーで表示されています。中央の緑は、-25LKFSに設定されたTarget Dial Normに関係します。緑のバーの高さは10dBであり、Target Delta（±5dB）で設定されます。これは、Short Term Dial Normが常に-30~-20LKFSにあることを意味しています。「PL」の緑の下は青であり、Short Term Loudness（この例では-45LKFS）の下限で止まります。「PL」の上の黄色であり、Short Term Loudness（この例では-17LKFS）の上限で止まります。「PL」バーの一番上は赤であり、現在のShort Term Loudnessの値がTarget Deltaのリミット、Short Termの上限を超えていることを示しています。Short Term Loudnessメータをよく見ると、まだ緑のままです。10秒以上連続して超えていないため、赤の条件には一致していません。この例では、この条件が一致しています。

Date	Time	Span (s)	Black Frame Min	Black Frame Mean	Black Frame Max	Blockiness Min	Blockiness Mean	Blockiness Max	Frozen Frame Min	Frozen Frame Mean	Frozen Frame Max
6/7/2010	8:02 PM	60	2.00	5.45	8.00	3.00	14.29	39.00	0.00	28.26	100.00
6/7/2010	8:03 PM	60	4.00	6.33	8.00	11.00	33.12	73.00	8.00	13.92	20.00
6/7/2010	8:04 PM	60	4.00	5.38	9.00	6.00	22.98	67.00	6.00	12.45	17.00
6/7/2010	8:05 PM	60	6.00	9.32	11.00	5.00	13.47	39.00	10.00	11.33	14.00
6/7/2010	8:06 PM	60	5.00	7.78	12.00	4.00	12.40	43.00	7.00	15.57	31.00
6/7/2010	8:07 PM	60	5.00	6.12	7.00	3.00	12.90	73.00	9.00	17.48	27.00
6/7/2010	8:08 PM	60	6.00	7.00	9.00	20.00	31.25	67.00	8.00	11.07	13.00

図7. 60秒おきのサマリを示すログ・ファイル

## アプリケーション例

### ファイルからのQoE解析

TS（トランスポート・ストリーム）ファイルはさまざまな場所またはデバイスから送られてきますが、以下の条件に適用する場合、コンテンツのQoE評価が可能です。

- 1) 188または204バイトのトランスポート・パケットによるISO/IEC 13818-1に準拠したファイル
- 2) MPEG-2またはH.264を使用したシングルまたはマルチプログラムのビデオ・エレメントを含んだファイル

ファイルの解析では、単にファイルを開いて測定を開始します。ファイル・モード、リアルタイム・モードの両方において、トリガ条件はイベント・ウィンドウにログされ、ファイルとしてエクスポートできます。また、グラフィック結果もログすることができます（図7を参照）。最小値、平均値、最大値は1分ごとにディスクにログされます。図4は、特定の時間によるグラフを示しています。赤のグラフが100%になっているところは、ビデオ・フレームの大きなロゴが背景で移動していない（フリーズなど）ことを示しています。

水泳の映像では、最初にほとんど動きのないフレームがありエンコードが容易でしたが、次に動きが激しくなりエンコーダは過圧縮になってブロック歪みが大きくなっています。非常に長いファイルまたはリアルタイム・イベントでは非常に長い期間で発生するため、測定の詳細をディスクにロギングできることはとても有効です。図7は、1分ごとのすべての測定をまとめたログ・ファイルを示しています。

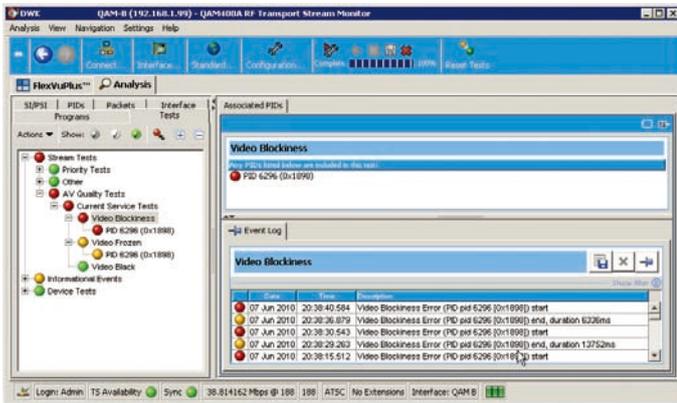


図8. VQS1000からのMTM400A型AVディレイ・テスト

## テクトロニクス・ネットワーク・プローブからのQoE解析

VQS1000は、V4.6以降にアップグレードされた、テクトロニクス・ネットワーク・プローブと統合できます<sup>4</sup>。アップグレードされたプローブでは、Config-Preferences-DecodeメニューでVQS1000をデコーダに設定します。MTM400A型のリモート・ユーザ・インターフェイスでPlayボタンを押すことで、バックフォール機能が働き、PC／サーバで動作しているVQS1000はMTM400A型からRTPパケットの受信を開始します。このモードでは、MTM400A型のUDPパケットではなく、RTPパケットでバックホール・ストリームを使用します。この方法では、ネットワークの混雑またはMTM400A型が連続したRTPフローを維持できないことでVQS1000がRTPパケットのドロップを検出すると、VQS1000のデコーダ・アプリケーションはスキップを認識してQoE評価に影響を及ぼさないようにストリームを再同期するように試みます。同様に、PCがリアルタイム・ビデオ・レートを維持するほどのスループットがない場合、PCバッファはフル・ポイントに達するため、VQS1000はQoE評価に影響を及ぼさないようにバッファをフラッシュしてリアルタイム・ビデオ測定を再スタートします。こうすることで、VQS1000はビデオ・ネットワークでドロップするパケットに対するドロップ・バックホール・パケットの理解を維持することができます。

VQS1000は、ビデオPID帯域測定以外は、ファイル・モードとMTM400A型とリンクした場合とで、ほぼ同じ表示とオペレーションです。MTM400A型と接続して得られるもう1つの機能は、すべてのトリガはSNMPIによってMTM400A型に送り戻されます。図6は、AVクオリティ・テストと呼ばれる追加カテゴリであり、VQS1000のブラック、フリーズ、ブロック歪み測定をトラックします。



図9. 2つのエンコーダにより、同じビデオ・コンテンツを2Mbpsと8Mbpsで圧縮した例

### スイッチから直接QoEを解析

3番目のアプリケーションでは、VQS1000をビデオIPスイッチに直接接続している場所です。この例では、VQS1000サーバに必要なトラフィックをスイッチ・マネージャがSPANまたはミラーするか、またはVQS1000のRealtimeメニューでIGMPを使用してマルチキャスト・セッションに参加することが重要になります。図10に、入力メニューを示します。

1. VQSのPCに転送されているIPセッションのポート番号
2. マルチキャストのIPアドレス
3. ソースの固有アドレス (IGMP V3の場合)

接続されたVQS1000はReal-timeメニューから測定を開始します。ネットワーク・インターフェースを選択し、特定のポートまたはすべてのポートをスキャンします。VQS1000は、ポート・ストリームの最初のIPセッションをデフォルトとするでしょう。他のストリームに変更するには、メニューからStream Selectionを選択します。

次の例では、2つのマルチキャスト・ストリームがスイッチによってVQS1000サーバに送られた例を示しています。2つのセッションは2つの異なったビデオ・エンコーダからのものですが、同じライブ・ビデオのように見えます。最初のエンコーダは2Mbpsに、2つめのエンコーダは8Mbpsに設定されています。図7の例では、VQS1000アプリケーションの2つのコピーが同時に実行されています。最初の例では2Mbpsのセッションに、2番目の例では8Mbpsのセッションに接続されています。2つのアプリケー

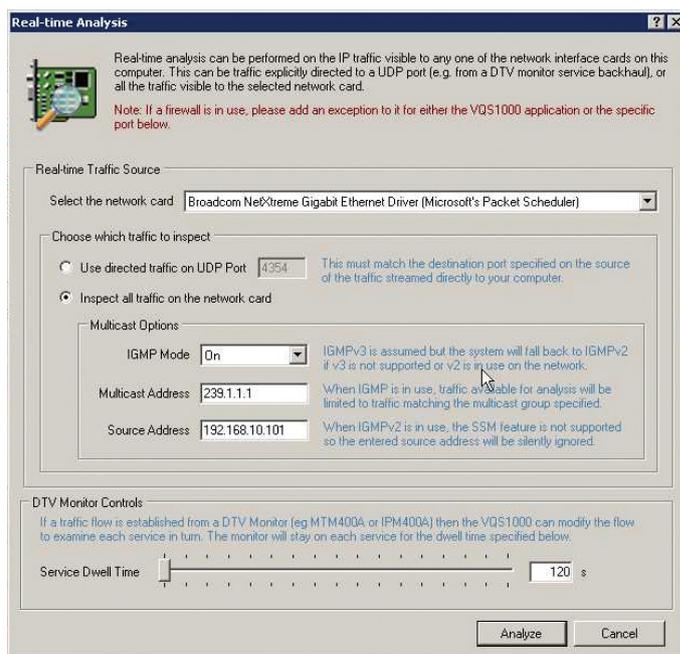


図10. IPインターフェース、アドレスを選択するリアルタイム解析メニュー

ションはリアルタイムに実行し、並べて表示されています。明らかに、2Mbpsのビデオは劣化しており、ブロック歪みも顕著です。一方、8Mbpsのビデオは比較的フラットなブロック歪みを示しています。

### まとめ

優れたQoEを実現するためには、客観的で、再現性の得られるリアルタイム測定デバイスが必要です。VQS1000はこの用途に最適なソリューションです。IPチェーンのエンドでVQS1000とIPM400A型を使用することで、任意の時間におけるQoEを検証することができます。トリガ・イベントが発生した場合、入力信号を監視する他のVQS1000は問題がネットワーク内にあるのか、ネットワーク外にあるのかを判断します。問題がネットワーク内の場合、IPチェーンの各ステージでテストを行い、問題をピンポイントで検出して原因となるデバイスを特定しなければなりません。VQS1000はこのためのソリューションであり、問題の原因となっているデバイスを迅速に検出することができます。

### 参考文献

1. SCTE 168-6 2010 Recommended Practice for Monitoring Multimedia Distribution Quality
2. Tektronix PQA600 Picture Quality Analyzer Application Note 28W-24876-0 titled "Objective Measurements and Subjective Assessments"
3. Tektronix Application Note 25W-23178-1 titled "MTM Backhauling"
4. MTM400型およびMTM400A型の最新ソフトウェアについては、当社ウェブ・サイト ([www.tek.com](http://www.tek.com)または[www.tektronix.com/ja](http://www.tektronix.com/ja))をご参照ください。ビデオ・バックホール、VQS1000ビデオ・クオリティ・ソフトウェアは、Ver 4.6以降でサポートされます。
5. ATSC A/85: Recommended Practice: Techniques for Establishing and Maintaining Audio Loudness for Digital Television
6. Rec. ITU-R BS.1770-1: Algorithms to measure audio programme loudness and true-peak audio level
7. Rec. ITU-R BS.1771: Requirements for loudness and true-peak indicating meters

**Tektronix お問い合わせ先：**

**日本**  
お客様コールセンター  
0120-441-046

**地域拠点**

**米国** 1-800-426-2200  
**中南米** 52-55-54247900  
**東南アジア諸国／豪州** 65-6356-3900  
**中国** 86-10-6235-1230  
**インド** 91-80-42922600  
**欧州／中近東／北アフリカ** 41-52-675-3777  
他 30 カ国

Updated 9 October 2009

詳細について

当社は、最先端テクノロジーに携わるエンジニアのために、資料を用意しています。当社ホームページ ([www.tektronix.com/ja](http://www.tektronix.com/ja)) をご参照ください。



TEKTRONIX および TEK は、Tektronix, Inc. の登録商標です。Dolby は、米国 Dolby Laboratories, Inc. の登録商標です。記載された商品名はすべて各社の商標あるいは登録商標です。

02/11

21Z-25432-1

**Tektronix®**

〒108-6106 東京都港区港南2-15-2 品川インターシティ B棟6階  
ヨッ良い オシロ  
テクトロニクス お客様コールセンター TEL:0120-441-046  
電話受付時間／9:00～12:00・13:00～19:00 (土・日・祝・弊社休業日を除く)

[www.tektronix.com/ja](http://www.tektronix.com/ja)

■ 記載内容は予告なく変更することがありますので、あらかじめご了承ください。

© Tektronix