

## 周波数同期保証型放送品質映像伝送システム

新井 健一 小野 諭

NTT 情報流通プラットフォーム研究所 〒180-8585 東京都武蔵野市緑町 3-9-11

E-mail: aria.kenichi@lab.ntt.co.jp

**あらまし** 放送品質映像を効率的に編集・混合するための映像プラットフォームの構築について述べる。放送品質映像の伝送に際しての要求条件は、(1)品質:連続したノイズフリーな映像の保持、(2)同期:複数映像/音声の正確な同期の維持、(3)スムーズフェールオーバー:伝送時のフェールオーバーにおける映像/音声データと時間軸品質の確保、である。

本論文では、(1)品質と(2)同期に関して、非同期網を介して複数の放送品質映像の同時性と時間軸を保証して伝送させるために開発した Unisync 映像伝送システムの有効性を、ATM 技術を基盤としている JGN 上に構築された長距離テストベッドを介して伝送された SMPTE-314M 映像の品質から評価したので報告する。品質評価は、最大 8 万 km の超長距離 ATM 伝送路を介して伝送された映像の PSNR (Peak-Signal to Noise Ratio) を測定することによって実施した。

**キーワード** 放送品質映像、非同期網、周波数同期信号、SMPTE-314M

## UniSync Broadcasting-quality Video Transmission System

ARAI Kenichi ONO Satoshi

NTT Information Sharing Platform Lab. 9-11, Midori-Cho 3-Chome Musashino-Shi, Tokyo 180-8585

E-mail: aria.kenichi@lab.ntt.co.jp

**Abstract** New Video Platform by which the broadcasting-quality video is effectively edited and processed, is discussed. This paper evaluates the proposed Unisync transmission video system, developed for multi-channel Broadcasting-quality video transmission through asynchronous network, terms of Video Quality.

**Keyword** Braodcasting-quality video, Asynchronous Network, House Sync, SMPTE-314M

### 1. はじめに

衛星放送や地上波放送のデジタル化、広帯域インターネットの発展は、様々なビデオコンテンツを楽しむ環境をもたらした。そのため、有意義で興味深い多種多様な番組が不足することは明らかであり、低価格で効率的にライブ中継などが可能となる放送番組の制作を支援する映像編集プラットフォームが求められる[1]。

近年、イーサネット、ATM および IP ネットワーク技術はかなり普及し、ネットワークのサービス提供価格は著しく低下している。しかし、従来の TDM による同期網と比較してこれらのネットワークは非同期網のため時刻の配送が出来ないという課題がある。

非同期網は、映像伝送に関して以下の要求を満たすことが出来ない。(1) 品質:偶発的なパケットロスによって映像データが損失し、再生映像に欠落が生じる。また、映像が許容する時間軸のジッタより、ネットワークの遅延ジッタの方が大きいため、非同期網を介して伝送された映像の時間軸の品質は悪化する。(2) 同期:チャンネル内部の同期が失われてしまう。さらに単一チャンネルの入出力信号間において周波数同期を保持するのは困難である。(3) スムーズフェールオーバー:0/1 系チャンネルの切り替えにおいてレイテンシの相違が映像の再生に影響を及ぼす。異経路間のフェールオーバーでは、レイテンシと同様にジッタの統計値も変化するため、時間軸の連続性を保持することは困難である。

本論文では、非同期網により映像制作を支援する映像編集プラットフォームを実現するために、非同期網を介して複数の放送品質映像の同時性と周波数同期

を確保して伝送させるために開発した Unisync 映像伝送システムの有効性を(1)品質と(2)同期に関して伝送された映像の品質から評価する。

### 2. 同期方式および映像伝送方法

#### 2-1 映像機器の同期方法

放送局やポストプロダクション等で使用されるスタジオカメラや VTR 等の各種映像機器は、映像機器から入出力される映像信号の相互の時間軸を保持するために周波数同期が必要であり、そのため各映像機器には周波数同期信号の発信器として PLL(Phase-Lock Loop)発信回路が内蔵されている。これらの映像機器を相互接続して使用する場合、それぞれの映像機器に内蔵されている PLL 発信回路を、放送局内等に設置された高精度な同期信号発生装置から分配される周波数同期信号(House Sync)の周波数にロックさせ、各映像機器を外部から提供される同一の周波数信号に従って駆動させることにより、各映像機器から入出力される映像信号の時間軸を正確に保持している[2]。

複数の映像を取り扱う切り替えや混合処理において、映像品質を劣化させないために各映像機器から出力される信号間でルートの違いによって起こる映像信号の位相差は  $\pm 1^\circ$  以内に収まらなければならないため、映像機器間の伝送距離は制限されている。また、SC(Sub-Carrier)と水平同期間の位相誤差である SCH(Sub-Carrier to Horizontal phase)位相は、 $0 \pm 40^\circ$  以内にする必要がある。SC がずれていると映像処理過程で水平ブランキングの幅が広くなったり、映像の切り替え直後に画面の水平シフトが起きたりする。

したがって各映像機器は、House Syncのような同一周波数源から供給させる高精度な周波数によってゲンロックされないと、映像機器間において映像信号が正確に送受信されず、映像の品質は著しく劣化する場合が生じる。同期信号には、コンポジット信号もしくはブラックバースト信号が用いられる。

各映像機器は、House Syncによって正確にゲンロックされ、時間軸が保持させているため、映像フレームのドロップやスリップは発生しない。映像信号に偶発的なビットエラーが発生した場合は、映像フレームに付加された ECC によってビットエラーは訂正される。

## 2-2 放送局向け映像伝送サービス

日本における放送局向けの映像通信サービスには、NTSC(National Television System Committee)のテレビ信号を伝送するテレビ中継サービスと第 3 種映像伝送サービスがある[4]。

テレビ中継サービスは、テレビ信号を放送局から他の放送局へ伝送するのに使用され、テレビ端局および長距離中継回線から構成される。端末回線はテレビ端局と各放送局を結び、同軸ケーブルや光ファイバが用いられている。長距離中継回線は、日本各地に配置されたテレビ端局を結び、地上マイクロ波方式が用いられている。長距離中継回線は、複数の回線を各放送局が共同で使用することにより、利用コストを抑えている。そのため、放送局がテレビ中継回線を使用する場合、事前に使用時間と使用区間を通信会社に申し込み、回線を切り替えて使用する必要がある。

第 3 種映像伝送サービスは、イベント中継、スポーツ中継や放送素材の伝送に使用され、NTSC 映像 1ch と音声 4ch を STM-1(Synchronous Transport Module)により配信する。NTSC 信号は、サンプリング周波数 14.31818[MHz](カラーサブキャリア周波数 fsc の 4 倍)、量子化ビット数 10[bit]によりデジタル信号に変換され、スクランブルド 2 値 NRZ 符号により STM-1 フレームにチャネルコーディング(伝送路符号化)される。STM-1 フレームは、TTC(The Telecommunication Technology Committee)標準 JT-G707 に準拠している。受信側において、NRZ:2(Non-Return to Zero)値符号化された光信号は、電気信号に変換され、伝送路のクロック信号から生成された 4fsc 周波数信号に従って出力される。図 1 に STM による映像伝送システムを示す。また、映像信号の周波数多重による多チャンネル映像伝送サービスも提供されている。

最近、第 4 種映像伝送サービスとして MPEG2 (Moving Picture Experts group)圧縮映像を ATM(Asynchronous Transfer Mode)によって伝送するデジタル信号向けの映像伝送サービスの提供も進められている。ATM による MPEG2 の伝送は、MPEG のパケットレイヤに規定されてい

る PES(Packetized Elementary Stream)パケットを 188Byte 固定長のトランスポートパケットに分割し、分割された 1 つのトランスポートパケットを 4 つの ATM セルによって伝送している。

## 2-3 同期変換

各放送局の局内同期信号は、各々独立して動作しているため、他局、もしくは局外中継設備から伝送されてくる映像信号を局内の映像信号と混合する場合、互いの映像信号の周波数を一致させなければならない。図 1 に示すように、他局などから映像伝送回線を介して転送されてきた映像信号は、フレームシンクロナイザで、入力した映像信号をデジタル化してフレームメモリに蓄え、フレームメモリに蓄えられた映像を自局の同期信号で読み出すことによって同期変換を行っている。

イベント、劇場やスポーツ中継のように、局外にて複数のカメラから出力される映像を選択混合して番組を構成する場合には、局外の番組制作設備と中継設備が用いられる。局外番組制作設備は、中継車のような、スタジオの番組制作設備と同等な番組制作環境を有しており、中継現場において番組が制作される。局外設備によって制作された番組は、中継設備によって放送局まで配信される。

ニュースなどの速報中継で、複数の中継現場から多元中継される場合は、各映像は放送局まで配信され、局内番組制作設備によって映像が切り替えられている。伝送距離や伝送設備の相違によって起こる映像の遅延時間差は、自然さを損なわないように、キャスト等の出演者や番組制作者の経験に基づいて吸収している。

## 2-3 複数映像/音声同期方法

以上に説明したように非同期網によって分散したスタジオ編集環境を実現するには、接続される映像機器は同位相の高精度な周波数によって入出力される映像の時間軸を保障する必要がある。

分散した複数の拠点に対して周波数信号を分配させるには、それぞれの周波数信号の位相差から相手と自局の周波数信号を相互同期するか、1 つの周波数源の周波数を各拠点に分配し、各設備の装置を 1 つの周波数信号に従属同期させる方法がある。

相互同期方法は、網内の各局に変発信器を設置し、他局のクロックと自局のクロックとを相互作用させ位相差を検出し、検出した位相差を調整することによって全局が統一の周波数を得る。相互同期方法は、高価な発信器を使用しなくても容易に同一周波数で同期化することが可能であるが、1 つの同期装置が故障すると他のすべての装置に対して影響を与える。また故障した装置の切り分けが難しいなどの運用方法に問題がある。

従属同期方法は、発信器のデジタル制御技術の進歩により実用的な方式である。網に接続された特定局を主局として、これから発生する高安定なクロックをクロック分配網を通じて他局へ分配し、各局に設置された網同期装置でクロックを再生して主局の周波数に統一的に同期化する。しかし、クロック分配路で伝送路の擾乱もしくは故障に対しても従属するため、従属局でいかにして主局の周波数と同じ周波数を維持するかが課題となる。

以上の特徴を考慮して、我々は我々が開発した ISDN によるクロック周波数同期技術[4][5]を用いて、各拠点に対して同一周波数源の周波数信号を分配することが可能となるため、従属同期方式による同期信号を提供する方法を採用し、非同期網を介して伝送された複数の放送局品質映

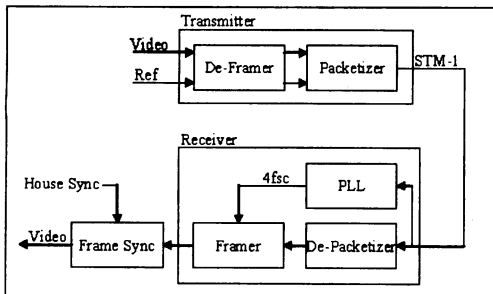


図1 STMによる映像伝送システム



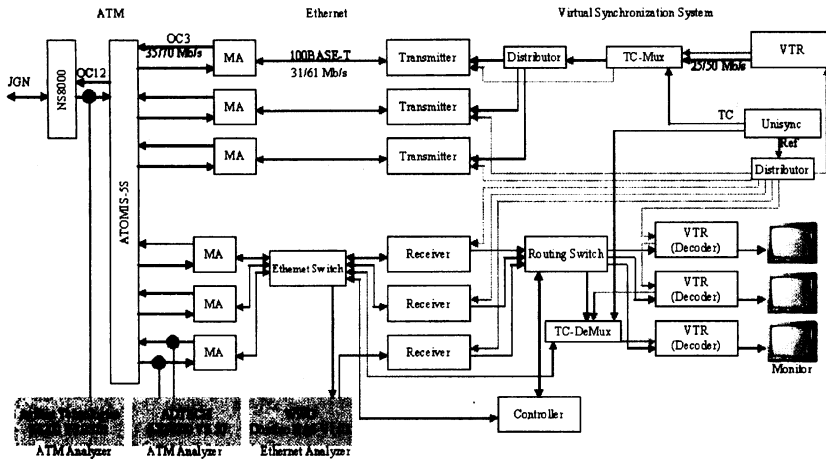


図6 テストベッド

標準化されていないため、FC-AV 規格に準拠したトレーラ (以下、FC-AV トレーラと略す)を用いている。受信側の伝送装置では、ネットワークを介して伝送されてきた UDP/IP パケットから SMPTE314M-DIF ファイルを組み立て、組み立てられた SMPTE314M-DIF ファイルは映像装置において SMPTE314M 伸張処理され、SDI 信号で出力される。

受信側の伝送装置では、受信された UDP パケットに付加されてきたシーケンス番号を参照しながら、1 映像フレーム分の SMPTE314M-DIF ファイルデータを組み立てている。伝送路もしくはネットワークエレメントにおいて何かしらの原因によって UDP パケットの到着に遅延が生じるかもしくは UDP パケットが損失し、UDP パケットのシーケンス番号に欠番が生じると、欠落したパケットの代わりに受信バッファに蓄積されていた 1 フレーム前のパケットデータが埋め込まれる。このため、映像の静止部に情報の欠落が生じた場合は映像の欠落が認識されないが、動きのある部分に欠落が生じると映像にブロック状のズレが観測されることになる。また、伝送装置には、受信した UDP パケットのシーケンス番号に欠番が生じた場合、シーケンス番号の欠番をパケットロスとしてカウントするロスカウンタが具備されているため、このロスカウンタによってパケットロスの発生を確認することが可能となっている。

### 3-3 ECC

ネットワーク等において偶発的に伝送パケットが損失すると、損失した伝送パケットの箇所を含む映像フレームを再生すると、再生映像において認識が明らかなブロック状のノイズとなり、映像の視聴に支障をきたす。パケット損失によるブロック状のノイズの発生を回避させるために、伝送装置にパリティによるエラー訂正機能を実装している。実装したエラー訂正機能は、1 秒間の映像で 1 つのパケット損失が偶発的に発生した場合を対象とし、パケット損失率  $1E-4$  程度のパケット損失を隠蔽できる程度とした。エラー訂正符号は、SMPTE314M-DIF ファイルに SDTI 情報が付加された FC-AV トレーラを 20 個のマトリクスに分割し、分割された 20 個のマトリクスにリードソロモン符号によるパリティ計算を実行し、計算されたパリティをマトリクスの最後尾に付加させて伝送させている。

## 3-4 JGN テストベッド

Japan Gigabit Network (JGN)[8]は、通信・放送機構が、超高速ネットワーク技術や高度アプリケーション技術等、情報通信技術の水準向上に寄与することを目的に、日本初の本格的な次世代インターネットの研究開発用テストベッドとして構築し、平成 11 年 4 月から平成 15 年度まで 5 年間運用を行っている。JGN は、2.4Gbps のバックボーンで全国 10 か所に設置された ATM 交換設備と結ばれ、各 ATM 交換設備から 56

か所の接続装置を 155Mb/s ならびに 600Mb/s の回線で結ばれており、ネットワークの運用や構築技術、高度アプリケーション技術の研究開発を目的とした次世代超高速ネットワークの実験環境として、大学、研究機関、行政、地方自治体、企業などに開放している。

H15 年度に研究開発を促進するため、JGN 上に単一のテストベッドとしては世界最大級の最長 350,000km の長距離・大容量テストベッドが構築された。構築された長距離・大容量テストベッドは、各設備に設置された ATM-SW の空きポートを物理的に折り返し接続させ、各スイッチ間に PVC を設定させることにより、帯域共有型で PCR600Mb/s の最大通信距離 0.8 万 km、PCR120Mb/s の最大通信距離 8 万 km、PCR40Mb/s の最大通信距離 16 万 km、PCR10Mb/s の最大通信距離 35 万 km の長距離・大容量の伝送路を実現した。

我々は、JGN 上に構築された長距離・大容量テストベッドの伝送帯域 PCR120Mb/s、通信距離 0.2, 1, 2, 4, 6, 8 万 km 各々を介して高品位映像の伝送実験を実施した。図 6 に JGN テストベッドに適応したシステム構成を示す。尚、映像伝送システムの UNI は 100BASE-T Ethernet のため JGN テストベッドとの接続には汎用の ATM-Ethernet SW (Media Access : NEC 社製)を使用した。

## 4. 評価実験

### 4-1 映像品質評価

#### 4-1-1 評価方法

開発した Unisync 放送品質映像伝送システムを JGN に適応し、JGN を介して伝送された映像の客観的な品質評価を行うために、圧縮映像の画像評価測定に広く用いられている画素単位の劣化が検証できる画像評価指数の PSNR (Peak-Signal to Noise Ratio)を用いた。PSNR は、原画と圧縮/伸張した画像の平均二乗誤差の逆数で表され、両画像の相違が大きければこの値は小さく、相違が小さければ値は大きくなる。PSNR の数値が高いほど高画質という評価になり、一般的に PSNR 40[db]で原画との見分けが難しく、PSNR 20[db]付近になると見るに耐えない画質と言われている。本測定では、PSNR の測定装置として PQA200 (日本テクトロニクス(株))を用いた。本装置による PSNR の測定は、

評価映像と測定対象の映像とを任意の2秒間(120フィールド)をピクセル単位で比較して差分値を算出している。

#### 4-1-2 評価映像

評価用の映像は、ITU-Rにおいて勧告されている映像の中から、映像パケットの欠損が発生したときブロック状のノイズが判別し易いように動き成分のシーンが多いMobile & Calendarを選択した。評価用映像として、非圧縮のMobile & Calendar映像を25Mb/sレートの映像にダウンコンバートし、ダウンコンバートした映像を、試験系を介して伝送し、受信側伝送されてきた映像を品質評価装置にてPSNRを測定した。

#### 4-2 評価結果

##### 4-2-1 映像品質

JGN上に構築された長距離・大容量テストベッドの伝送帯域PCR120Mb/s、通信距離0.2, 1, 2, 4, 6, 8万km各々を介して高品位映像の伝送実験を実施した。尚、本検討に用いた映像伝送システムのUNIは100BASE-T Ethernetのためテストベッドとの接続には汎用のATM-Ethernet SW(Media Access : NEC社製)を使用した。

いずれの伝送距離においても受信映像にブロック状のノイズが観測された。これはJGNの伝送路もしくはネットワークエレメントで偶発的な原因によってセルロスが発生し、セルロスが発生するとATM網でセルロスを含むCPCS-PDUが廃棄され、CPCS-PDUが廃棄されると映像フレームに欠損が生じるために、伝送された映像にブロック状のノイズが生じた。図7に映像にブロック状のノイズが生じた映像の例を示す。図7に示す四角によって囲まれた箇所が欠損している。

ATMアナライザを用いてセルロスの発生原因を解明すると、①ネットワークエレメントにおいて単発的にセルロスが発生する。②JGNは帯域共有型のため伝送路において他のトラフィックとの衝突によってバースト的にセルロスが発生する。

##### 4-2-2 パケット損失率とPSNRの関係

他のトラフィックとの衝突によってバースト的にセルロスが発生しているパケット損失率が $10^{-2}$ 程度の状況においてPSNRを測定した。測定結果を図8に示す。PSNRは大きく変動していることがわかる。尚、使用した測定器は120フィールドピクセル単位で1計測するのに約20秒要するため、図8の横軸は約20秒間隔をおいた120フィールドのPSNRの時系列変動を示している。横軸の数値は測定時刻を示している。

図9に図8の(1)、図10に図8の(2)、図11に図8の(3)、図12に図8の(4)におけるパケットロスによってフィールドが欠損した受信映像を示す。

まず、図12は伝送路においてバースト的に大量のパケット損失が発生すると、受信側の伝送装置には未到着のパケットが発生し、伝送装置は未到着のパケットの代わりに受信バッファに蓄積されていた1フレーム前のデータを埋め込むために、ブロック状のノイズが発生せず1つ前の映像が再生され、図12に示すようなフィールド全体が劣化した受信映像となったと推測される。

次に、図9～図11に示したように、パケット損失によってブロック状のノイズが発生した映像は、ブロック状のノイズによって欠落した部分が多いほどPSNRが低くなる傾向がある

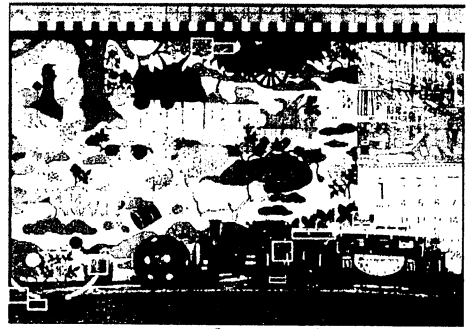


図7 ブロックノイズ

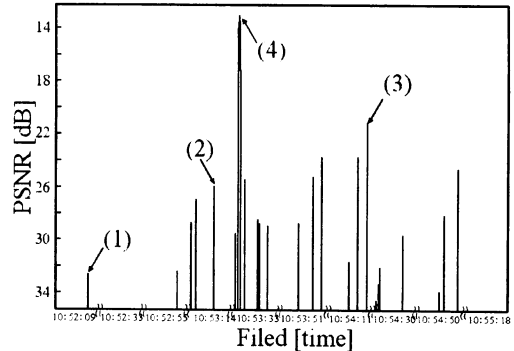


図8 PSNRの時間変化

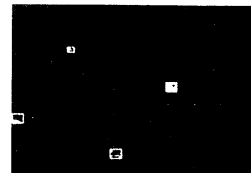


図9 PSNR 32.54

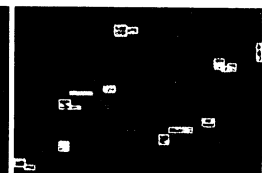


図10 PSNR 26.82

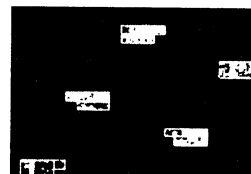


図11 PSNR 21.36

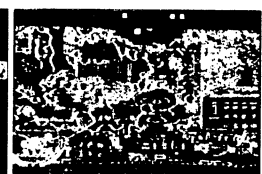


図12 PSNR 13.59

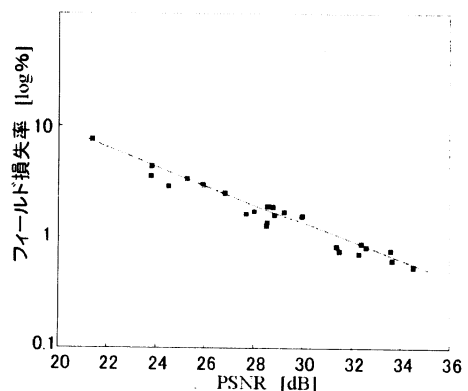


図13 PSNRとフィールド損失率の関係

ことがわかる。そこで、映像の欠落と PSNR との関係を明確にするため、評価映像の全画面に対する欠落部分との比率をフィールド欠落率として、フィールドに欠落が生じた各フィールドの欠落の割合を計算した。

評価映像の全画面の面積を  $S$ 、ブロック状のノイズの面積を長方形として近似して  $S_n$  とするとフィールド欠落率  $\square$  は  $\square = S_n / S$

で、計算される。

計算されたフィールド欠損率と PSNR との関係を図 13 に示す。図 13 に示すように、フィールド欠損率と PSNR は反比例の関係にあり、PSNR が低くなるほどフィールド欠損率が高くなることからわかる。つまり、パケットの損失が発生し、映像の欠落部分が多くなるほど PSNR は低くなり、映像の品質が悪化することがわかる。

### 4-2-3 ECC による映像品質補正

実装したエラー訂正機能の有効性を確認するために、 $10^{-4}$  程度パケット損失が発生していた伝送距離 8 万 km の同一の PVC に、パリティ計算を動作させた映像とパリティ計算を動作させない映像を同時に伝送させた。図 14 に ECC を動作させない場合、図 15 に ECC を動作させた場合の PSNR の時間変化を示す。図 14 はパケット損失による PSNR の低下が観測されているが、ECC を動作させた図 15 は明らかに PSNR の変化がなくなっており、エラー訂正機能が有効に動作していることが判明した。

以上より、ネットワークエレメント等において単発的に発生するパケット損失率  $1E-4$  程度以下のパケット損失による映像劣化はエラー訂正機能によって防げることがわかった。一方、伝送路における他のトラヒックとの衝突によって発生する  $1E-4$  程度以上のパケット損失に対してエラー訂正機能を用いるのは、パリティの同報によってデータ量が增大するため有効ではない。 $1E-4$  程度以上のパケット損失による映像の欠損を防ぐには、ネットワークの品質制御機能を用いることが有効である。

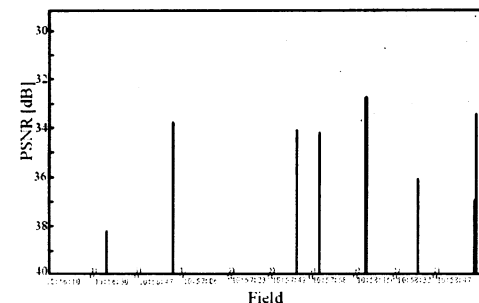


図14 ECCによる補正なし

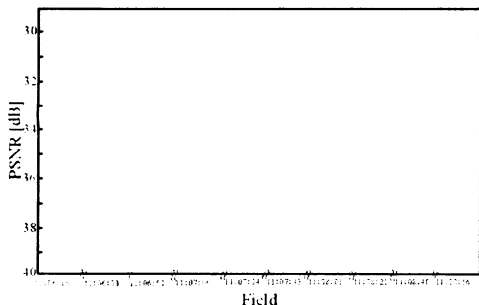


図15 ECCによる補正あり

### 4-3 同期評価

観測の結果、いずれの距離を伝送させた映像に対して伝送路で生じるジッタによって影響を受けたと思われる映像品質の劣化は観測されなかった。測定したジッタ値を表 1 に示す。伝送路で生じるジッタが映像におよぼす影響を数値的に確認するために、0.2, 1, 2, 4, 6, 8 万 km 各々の距離をパケット損失が発生していない状況において受信映像の PSNR を測定した。いずれの伝送距離においても PSNR は  $\square$  であり、PSNR の測定からも伝送路のジッタが映像の品質に影響を与えていないことが明確になった。

### 5. まとめ

本論文では、非同期網を介して放送品質映像を伝送させるために開発した Unisync 放送品質映像伝送システムを JGN に適応して、性能評価を行った。その結果、偶発的なセルロスのために発生する映像のブロックノイズは、ECC によって補正出来ることを確認した。しかしながら、他のトラヒックとの衝突によりバースト的なセルロスを防ぐには、ネットワークの品質制御機能を用いることが有効である。また SMPTE-12M のタイムコードによって遅延制御が可能であることを確認した。今回の測定では、JGN のネットワークジッタ小さかったためネットワークジッタによる映像劣化は観測されなかったが、Ethernet による試験では  $\pm 0.2$  [msec] のジッタの影響を受けないことを確認している。今後は、複数映像を家庭まで配信させる方法について検討していく予定である。

### 謝辞

本研究を遂行するにあたりご支援頂きました、東京大学の青山友紀教授ならびに放送・通信機構の榎本正研究員、石丸勝洋研究員に感謝します。

### 文献

- [1] 新井, 佐々木: “地域ギガリンクサービスの提案”, 信学技報, CS98-132, IE98-111, pp.1-6, (1998-12)
- [2] 映像メディア学会: “テレビジョン・画像情報工. 学ハンドブック”, (株)オーム社, 平成 9 年 8 月 10 日, 第 1 版第 2 刷発行
- [3] <http://www.ntt.com/dnws/eizou/>
- [4] 山下, 小野: “高速デジタル網を用いたクロック周波数同期”, 電子情報通信学会論文誌, D-1, Vol. J79-D-1 NO. 8, pp.522-529, 1996 年 8 月
- [5] ONO Satoshi, YAMASHITA Takao, “Precision Synchronization of Computer Clocks using ISDN”, Asian '96 Computer Networking Workshop, P28-41, December 5, 1996, Singapore
- [6] (著書, 編書例 2) H. Tong, Nonlinear Time Series, J. B. Elsner, ed.: “A Dynamical System Approach”, Oxford University Press, Oxford(1990)
- [7] <http://www.smpte.org/>
- [8] [http://www.jgn.tao.go.jp/english/index\\_E.html](http://www.jgn.tao.go.jp/english/index_E.html)