

情報通信審議会 情報通信技術分科会
放送システム委員会 IP 放送作業班
報 告

平成30年7月31日

目次

1. はじめに	2
2. 検討の背景	3
2.1 検討開始の背景	3
2.2 ケーブルテレビの IP ネットワーク	4
2.3 IP 放送に関する状況	4
3. 超高精細度テレビジョン放送等に係る有線一般放送方式の要求条件	5
3.1 要求条件	5
3.2 要求条件との整合性	10
4. インターネットプロトコル伝送の技術的条件	17
4.1 システムの構成	17
4.2 電気信号等に係る技術的条件	21
4.3 受信者端子以外の性能規定点における技術的条件	34
4.4 情報源符号化方式等に係る技術的条件	39
4.5 サービス可用性に関する技術的条件	42
4.6 測定方法に関する基本的な考え方	43
5. デジタル有線テレビジョン放送方式による有線テレビジョン放送等を行う有線放送設備に係る技術的条件	44
5.1 搬送波の変調の型式が 256QAM 変調の場合における搬送波等の条件	44
5.2 搬送波の変調の型式が 64QAM 変調の場合における搬送波等の条件	51
6. 今後の検討課題	53
6.1 IP 放送に関する課題	53
6.2 国際標準化、技術開発に関する課題	53
6.3 有線一般放送の技術的条件全般に関する課題	54
参考資料	55

1. はじめに

1955 年、地方部におけるテレビジョン放送の難視聴対策として始まったケーブルテレビは、その後、都市部の高層化等に伴う難視聴対策にも利用されるようになった。1980 年代後半には、情報通信の高度化に伴い、地上放送に加え、衛星放送の同時再放送、さらには、多様な視聴者ニーズに対応した多チャンネルサービスの提供、地域のニーズに対応したコミュニティチャンネルの提供等も行う都市型ケーブルテレビが各地に登場するようになった。1990 年代後半には、衛星放送、地上放送のデジタル化の進展に沿って、ケーブルテレビでもデジタル化を進め、放送のデジタル化においても役割を果たしてきた。

通信の分野においても、1990 年代後半にはインターネットの普及に伴い、ケーブルテレビのネットワークを活かしたケーブルインターネットにより高速で低廉なインターネット接続サービスを提供してきた。従来、有線回線を前提とした、固定ブロードバンドサービスや固定電話サービス(IP 電話を含む)の通信分野のみならず、近年は、MVNO サービス、地域 BWA サービスなど移動通信分野においてもサービス提供を行っている事業者が増加しつつある。

このような状況の中で、ケーブルテレビは、高精細度テレビジョン放送(HDTV)を超える 4K・8K フォーマットに対応した超高精細度テレビジョン放送(UHDTV)の進展に応じて、「ケーブル 4K」等の高度な放送サービスを自ら行うとともに、2018 年には衛星放送による 4K・8K 実用放送の本格的な開始にも対応していくことが求められている。また、FTTH(Fiber To The Home)を含むブロードバンドの普及が進んでいる中、インターネットを使って利用者に動画等のコンテンツを提供する、いわゆる OTT(Over The Top)と呼ばれる通信分野におけるサービスが普及しつつある一方で、放送分野における放送番組の配信サービスとしての IP 放送について、同一の内容を不特定多数が同時に視聴できるという放送の特徴を確保する観点からも、IP 放送に関する技術的条件を明確化することが求められている。

そこで、情報通信技術分科会放送システム委員会では、現行の有線テレビジョン放送方式等の技術基準も踏まえ、ケーブルテレビの高度化及び普及促進を図るため、必要な技術的条件の検討を行うこととし、「ケーブルテレビシステムの技術的条件」のうち、「ケーブルテレビにおける IP 放送等に関する技術的条件」について、検討を行い、報告を取りまとめたものである。

2. 検討の背景

2.1 検討開始の背景

IP マルチキャスト方式による放送サービスの技術的条件については、2007(平成 19)年 3 月 28 日のケーブルテレビシステム委員会報告において今後の課題として「国内のサービス状況や国内外の標準化動向を踏まえ、その必要性も含め継続的な検討を行う必要がある」とされていた。

4K・8K をはじめとする放送サービスの高度化、テレビ視聴形態の多様化等放送を取り巻く環境が変化しているとともに、固定ブロードバンド網の広帯域化等を踏まえ、有線一般放送を行う登録一般放送事業者(以下、「ケーブルテレビ事業者等」という)は、インターネットプロトコル(IP)を活用して放送を取り巻く環境の変化に対応する取り組みを進めている。

4K・8K に関して、総務省は、「4K・8K ロードマップに関するフォローアップ会合」を開催し、とりまとめた 4K・8K 推進のためのロードマップ(2014(平成 26)年 9 月、第一次中間報告、2015(平成 27)年 7 月、第二次中間報告)に基づき、4K・8K に関する取組を推進してきた。

情報通信審議会におけるケーブルテレビに関する取り組みとしては、2014(平成 26)年 12 月、「ケーブルテレビシステムの技術的条件」のうち「ケーブルテレビにおける超高精細度テレビジョン放送の導入に関する技術的条件」について放送システム委員会において検討を行った結果に基づき、一部答申を行った。総務省は、当該一部答申を受け、2015(平成 27)年 3 月に所要の制度整備を行った。なお、当該報告において課題とされていた BS/CS110 のパススルー伝送方式のための左旋用中間周波数については、2018(平成 30)年 2 月の放送システム委員会における検討を経て、総務省は、同年 5 月に所要の制度整備を行っている。

2015(平成 27)年には、CS124/128、ケーブルテレビ、IPTV 等による 4K 実用放送が既に開始されており、2016(平成 28)年には、BS による 4K・8K 試験放送が開始され、2018(平成 30)年 12 月には、BS/CS110 により 4K・8K 実用放送が開始される予定である。

ケーブルテレビに関しては、2017(平成 29)年 5 月、総務省の放送を巡る諸課題に関する検討会 地域における情報流通の確保に関する分科会報告書「ケーブルビジョン 2020⁺ ～地域とともに未来を拓く宝箱～」において様々な提言がなされ、放送サービスの IP 化に関連して、IP 放送の品質を確保するために必要な技術基準の在り方の検討を行うことが適当であるとされた。

このような状況の下、総務省では 2017(平成 29)年 11 月から IP ネットワークを活用した放送の普及を図るため「4K・8K 時代に向けたケーブルテレビの映像配信の在り方に関する研究会(座長:伊東 晋 東京理科大学 教授)」を開催し、IP 放送の技術基準等の在り方について検討を進め、2018(平成 30)年 6 月に報告書がとりまとめられた。

このような背景を踏まえ、ケーブルテレビの放送サービスの多様化、高度化を図るため、IP 放送等に関して必要な技術的条件の検討を行うものである。

2.2 ケーブルテレビの IP ネットワーク

ケーブルテレビの IP ネットワークは、現在主流となっている幹線に光ファイバを使用した HFC (Hybrid Fiber Coaxial) による CATV アクセスサービス、近年普及が進みつつある幹線及び分配線も含む伝送路全区間において光ファイバを使用する FTTH (Fiber To The Home) による FTTH アクセスサービスがある。

HFC によるネットワークは、10MHz～55MHz の上りと 90～770MHz の下りの伝送帯域等を利用して、DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specifications) 規格により、下り 40～320Mbps 程度 (DOCSIS3.0 仕様)、1Gbps 程度 (DOCSIS3.1 仕様) の伝送帯域を有する。

一方、FTTH によるネットワークは、光領域のより広範な帯域を利用して、数 10Mbps～10Gbps 程度の伝送帯域を有する。ケーブルテレビの FTTH については、ケーブルテレビ局舎から加入者宅まで自ら光回線を整備して FTTH を提供する「自社回線」、ケーブルテレビ局舎から回線事業者局舎の相互接続点まで回線を整備、相互接続点から加入者宅までは接続料を支払うことで他事業者の回線を用いて FTTH を提供する「接続」、ケーブルテレビ局舎から加入者宅まで、他の回線事業者からの光回線の卸役務の提供を受けて FTTH を提供する「卸役務」といった方法がある。

それぞれの方法には、設備投資の規模、価格競争やサービス改善の容易性などにおいて、メリット、デメリットが存在するため、事業者は、地理的要因や競争状況、自らの事業に必要な帯域や必要となるコスト等を踏まえて、最適な方法を選択してネットワークを構築する必要がある。

2.3 IP 放送に関する状況

IP マルチキャスト方式による IP 放送の実施については、放送法の技術基準は、標準的に使用されるものとして規定される放送方式以外にも個別審査により使用を認めることができる柔軟な制度となっており、従来、個別審査により使用が認められてきた経緯がある。

既に多数の放送番組を提供してひっ迫している放送用のネットワークに加え、近年、FTTH 等により広帯域化している IP ネットワークを利用して放送サービスを提供するニーズが高まってきており、事業者の申請に関する負担軽減やマルチベンダー化を促進する観点からも、従来の RF 方式と同様に、技術的条件の検討をすることが必要となってきた。

3. 超高精細度テレビジョン放送等に係る有線一般放送方式の要求条件

3.1 要求条件

3.1.1 基本的な考え方

超高精細度テレビジョン放送等に係る有線一般放送方式の要求条件の基本的な考え方は次のとおりとする。

- ・ 超高精細度テレビジョン放送等による高画質サービス、多機能及び多様で柔軟なサービスを実現できること。
- ・ 将来の技術動向を考慮し、実現可能な技術を採用するとともに、その後に想定されるサービスや機能の追加等にも配慮した拡張性を有する方式とすること。
- ・ 現行の放送サービスや他のデジタル放送メディアとの相互運用性をできる限り確保するとともに、通信との連携による新たなサービスにも対応できること。
- ・ 既存の設備や端末の活用並びに既存の運用形態の適用が最大限行えること。
- ・ 送信設備、受信機及び伝送設備が満たすべき条件が開示されていること。

3.1.2 システム

項目		要求条件	備考
インターオペラビリティ		・ 地上放送、衛星放送、ケーブルテレビ、IPTV 等の様々なメディア間で、できる限り互換性を有すること。 ・ 既存のシステムに妨害を与えないこと。 ・ ケーブルテレビにおける既存の放送・通信サービスと併存でき、新方式の円滑な導入及びマイグレーションが可能であること。	
サービス	高機能化／多様化	・ 現行の高精細度テレビジョン放送（HDTV）、超高精細度テレビジョン放送（UHDTV）サービスを基本とした高画質サービスを可能とすること。 ・ 多様で柔軟な高機能サービスを可能とすること。 ・ インターネット等の通信系を利用したサービスについても考慮すること。 ・ チャンネル切り替えに要する時間は、可能な限り短いこと。	

		・年齢による視聴制限（パレンタルレート）設定のような、視聴者によるアクセス制御を可能とすること。 ・緊急警報信号のような非常災害時における対象受信機への起動制御信号及び緊急情報の放送について考慮すること。	
	拡張性	・サービス形態、符号化方式、受信機、限定受信方式等について拡張性を有すること。	
	アクセシビリティ	・高齢者、障がい者等様々な視聴者向けのサービスについても考慮すること。 ・種々の放送サービスに視聴者が容易にアクセスできること。 ・さらに、放送と通信系のサービスが連携するサービスへのアクセスが容易であること。	
実時間性		・高い実時間性を要求される場合を考慮すること。 ・視聴者に違和感を与えない程度の映像・音声の遅延差であること。	
システム制御		・放送の要件に応じて伝送パラメータの選択や組合せの変更を行うことができ、また、それに合わせて受信機制御が可能な方式とすること。 ・送出する映像、音声、データの容量やチャンネル数等を任意に選択、変更できること。	
著作権保護		・放送コンテンツの記録及び利用に関して制御できる機能を有すること。	
個人情報保護		・受信者の個人情報保護について考慮すること。	
国際標準との整合性		・国際標準との整合性を考慮し、容易に導入できるシステムとなるよう考慮すること。	

3.1.3 放送品質

項目	要求条件	備考
画質	・ 現行の HDTV、UHDTV サービスと同等又はそれ以上の画質が望まれることを考慮し、できる限り高い画質を保つこと。 ・ 標準テレビジョン放送（SDTV）についても、できるだけ高画質を保つこと。 ・ 情報源符号化による画質劣化の時間率ができるだけ小さいこと。 ・ サービスに応じて画像のビットレートを変更できること。	
音質	・ 現行の HDTV、UHDTV サービスと同等又はそれ以上の音質が望まれることを考慮し、できる限り高い音質を保つこと。 ・ SDTV についても、できるだけ高音質を保つこと。 ・ 多チャンネル音声など高臨場感音声サービスを可能とすること。 ・ サービスに応じて音声のビットレートを変更できること。	

3.1.4 技術方式

項目	要求条件	備考
映像入力フォーマット及び符号化方式	・ 現行の HDTV、UHDTV サービスを考慮した映像入力フォーマット及び高効率かつ高画質な符号化方式であること。 ・ 将来の拡張性を考慮した符号化方式であること。	
音声入力フォーマット及び符号化方式	・ 現行の HDTV、UHDTV サービスを考慮した音声入力フォーマット及び高効率かつ高音質な符号化方式であること。 ・ 多チャンネル音声放送が可能な符号化方式であること。 ・ 将来の拡張性を考慮した符号化方式であること。	
データ符号化方式	・ 将来の拡張性を考慮した符号化方式であること。 ・ 通信系のサービスとの連携を考慮した符号化方式であること。	

多重化方式		・ 多様なサービスの柔軟な編成が可能な多重化方式であること。 ・ 通信系のサービスとの連携を考慮すること。 ・ 他のサービスとの相互運用性を考慮すること。 ・ 衛星等による放送波の再放送のような、他の放送ネットワークからの乗り移りの容易性を考慮すること。 ・ 自主放送信号及び再放送信号の独立性が確保できるように考慮すること。	
限定受信方式	スクランブルサブシステム	・ 高度な秘匿性を有すること。 ・ 不正受信に対して十分な安全性を有し、脆弱性が発見された場合等に対応可能な機能を有すること。	
	関連情報サブシステム	・ 関連情報伝送や限定受信機能に関して十分な安全性を有し、その安全性を継続的に維持・改善できること。 ・ 種々のサービス形態に対応するため、課金・収納方式等に自由度があり、弾力的な運用が可能であること。 ・ 個々の受信者へ向けた情報の伝送、表示が可能であること。 ・ 新規関連情報サブシステムへの更新や拡張性を考慮すること。 ・ 関連情報は可能な限り共通の形式によること。 ・ 関連情報の配付は、効率的で正確、確実なものであること。	
伝送路符号	使用するIPアドレス	・ IPマルチキャスト方式のIPアドレスを対象とすること。	
	伝送帯域幅	・ 放送サービスとして提供される放送信号の全てを伝送するために必要な帯域幅を確保すること。	
	伝送路のトラヒックの要求条件	・ 放送のトラヒックが通信のトラヒックと伝送路を共有している場合、放送のトラヒックを安定的に伝送するための措置がとられていること。	

化 方 式	通信系	・ 伝送路の帯域の有効利用及び多様なサービス、特に現行の HDTV、UHDTV サービスを伝送できるよう十分な伝送容量を確保できる通信方式であること。	
	誤り訂正系	・ 採用する通信方式との整合性が良いこと。 ・ 符号化効率が良いこと。 ・ サービスの要求に応じた誤り耐性の選択を考慮すること。ただし、伝送容量の低下を最小限にとどめること。	
	伝送容量	・ 通信サービスからのトラヒックの影響を考慮した上で、放送サービスとして提供しようとする放送信号を伝送するために必要十分な伝送ビットレートを確保できること。	
受信機等への配慮		・ 現行設備や受信機への負担等を考慮して、技術方式を選定すること。	

3.1.5 受信機

項目	要求条件	備考
操作性	・ 操作が簡単であること。 ・ 受信者や事業者の要求に応じて、受信機機能の更新が可能であること。 ・ 高齢者、障がい者等に配慮した操作性を有すること。 ・ 所望のサービスの選択が統一的な操作方法で行えることが望ましい。	
処理系	・ 番組視聴に必要となる、必要十分なメモリ容量及びその情報の処理機能・能力を持つこと。	
インターフェース	・ 映像、音声出力については、既存の受像機における提供について考慮すること。 ・ 適切な著作権保護を実現する機能を有すること。 ・ 高速データ転送が可能であること。 ・ 多様な機器を複数接続でき、かつ、接続設定が容易であること。 ・ 受信機が対応するサービスに応じたインターフェースを有すること。	
拡張性	・ ハードウェア及びソフトウェアの追加、変更について考慮されていること。	

3.2 要求条件との整合性

3.1.1 から 3.1.5 に示した要求条件の各項目に対して、今回検討した方式との整合性は以下のとおり。

3.2.1 基本的な考え方

項目	要求条件	整合性
基本的な考え方	・ 超高精細度テレビジョン放送等による高画質サービス、多機能及び多様で柔軟なサービスを実現できること。 ・ 将来の技術動向を考慮し、実現可能な技術を採用するとともに、その後に想定されるサービスや機能の追加等にも配慮した拡張性を有する方式とすること。 ・ 現行の放送サービスや他のデジタル放送メディアとの相互運用性をできる限り確保するとともに、通信との連携による新たなサービスにも対応できること。 ・ 既存の設備や端末の活用並びに既存の運用形態の適用が最大限行えること。 ・ 送信設備、受信機及び伝送設備が満たすべき条件が開示されていること。	・ 現行の有線テレビジョン放送等で提供されている超高精細度テレビジョン放送、高精細度テレビジョン放送等によるものと同等のサービスが提供できるようにすることによって、高画質サービス、多機能及び多様で柔軟なサービスの実現、その後に採用されるサービスや機能の追加等にも配慮した拡張性を有することを考慮した。 ・ 情報源符号化方式等について、現行の方式等と同等のものを採用することによって、現行の放送サービスや他のデジタル放送メディアとの相互運用性を確保するとともに、IP ネットワークを活用した伝送方式によって、通信との連携による新たなサービスにも対応できることを考慮した。 ・ 上記の方式を採用するにあたって、既存の設備や端末の活用並びに既存の運用形態の適用が最大限行えること、送信設備、受信機及び伝送設備が満たすべき条件が開示されていることを考慮した。

3.2.2 システム

項目		要求条件	整合性
インターオペラビリティ		・地上放送、衛星放送、ケーブルテレビ、IPTV 等の様々なメディア間で、できる限り互換性を有すること。 ・既存のシステムに妨害を与えないこと。 ・ケーブルテレビにおける既存の放送・通信サービスと併存でき、新方式の円滑な導入及びマイグレーションが可能であること。	・情報源符号化方式等について、現行の方式等と同等のものを採用することによって、様々なメディア間で、できる限り互換性を有することを考慮した。 ・IP 伝送方式が、既存のシステムに妨害を与えないこと、既存の放送・通信サービスと併存でき、新方式の円滑な導入及びマイグレーションが可能であることを考慮した。
サービス	高機能化／多様化	・現行の高精細度テレビジョン放送（HDTV）、超高精細度テレビジョン放送（UHDTV）サービスを基本とした高画質サービスを可能とすること。 ・多様で柔軟な高機能サービスを可能とすること。 ・インターネット等の通信系を利用したサービスについても考慮すること。 ・チャンネル切り替えに要する時間は、可能な限り短いこと。 ・年齢による視聴制限（パレンタルレート）設定のような、視聴者によるアクセス制御を可能とすること。 ・緊急警報信号のような非常災害時における対象受信機への起動制御信号及び緊急情報の放送について考慮すること。	・情報源符号化方式等について、現行の方式等と同等のものを採用することによって、HDTV、UHDTV サービスを基本とした高画質サービスを可能とすること、多様で柔軟な高機能サービスを可能とすること、視聴者によるアクセス制御を可能とすること、緊急制御信号及び緊急情報を放送することを考慮した。 ・IP 伝送方式を採用することによって、インターネット等の通信系を利用したサービスについても考慮するとともに、信号の遅延を規定することにより、チャンネル切り替えに要する時間を可能な限り短くすることを考慮した。
	拡張性	・サービス形態、符号化方式、受信機、限定受信方式等について拡張性を有すること。	・現行の有線テレビジョン放送等を同等の放送方式を採用しており、同等の拡張性等を有する。

	アクセシビリティ	・高齢者、障がい者等様々な視聴者向けのサービスについても考慮すること。 ・種々の放送サービスに視聴者が容易にアクセスできること。 ・さらに、放送と通信系のサービスが連携するサービスへのアクセスが容易であること。	・現行の有線テレビジョン放送等と同等の放送方式を採用しており、同等のアクセシビリティ等を有する。 ・IP 伝送方式を採用することによって、放送と通信系のサービスが連携するサービスへのアクセスがより容易になっている。
	実時間性	・高い実時間性を要求される場合を考慮すること。 ・視聴者に違和感を与えない程度の映像・音声の遅延差であること。	・IP 伝送方式の技術的条件として、現行のデジタル有線テレビジョン放送方式の技術的条件と同等程度の性能を有するようネットワーク品質、安定品質等の条件を定めており、高い実時間性、映像・音声の遅延差は確保される。
	システム制御	・放送の要件に応じて伝送パラメータの選択や組合せの変更を行うことができ、また、それに合わせて受信機制御が可能な方式とすること。 ・送出する映像、音声、データの容量やチャンネル数等を任意に選択、変更できること。	・IP 伝送方式の採用により、柔軟にシステム制御や受信機制御が可能となっており、また、送出する映像、音声、データの容量やチャンネル数等を任意に選択、変更可能である。
	著作権保護	・放送コンテンツの記録及び利用に関して制御できる機能を有すること。	・現行のデジタル有線テレビジョン放送方式と同様の機能を実現可能である。
	個人情報保護	・受信者の個人情報保護について考慮すること。	・現行のデジタル有線テレビジョン放送方式と同様の機能を実現可能である。
	国際標準との整合性	・国際標準との整合性を考慮し、容易に導入できるシステムとなるよう考慮すること。	・現行のデジタル有線テレビジョン放送方式と同様に国際標準との整合性等を考慮した。

3.2.3 放送品質

項目	要求条件	整合性
画質	・ 現行の HDTV、UHDTV サービスと同等又はそれ以上の画質が望まれることを考慮し、できる限り高い画質を保つこと。 ・ 標準テレビジョン放送 (SDTV) についても、できるだけ高画質を保つこと。 ・ 情報源符号化による画質劣化の時間率ができるだけ小さいこと。 ・ サービスに応じて画像のビットレートを変更できること。	・ 現行の HDTV、UHDTV サービスと同等又はそれ以上の画質を保つことができる。 ・ ビットレートを適切に選定することにより、画質劣化の時間率を小さくすることが可能であり、伝送容量の範囲内で、サービスに応じて画像のビットレートを変更可能である。
音質	・ 現行の HDTV、UHDTV サービスと同等又はそれ以上の音質が望まれることを考慮し、できる限り高い音質を保つこと。 ・ SDTV についても、できるだけ高音質を保つこと。 ・ 多チャンネル音声など高臨場感音声サービスを可能とすること。 ・ サービスに応じて音声のビットレートを変更できること。	・ 現行の HDTV、UHDTV サービスと同等又はそれ以上の画質を保つことができる。 ・ ビットレートを適切に選定することにより、画質劣化の時間率を小さくすることが可能であり、伝送容量の範囲内で、サービスに応じて画像のビットレートを変更可能である。

3.2.4 技術方式

項目	要求条件	整合性
映像入力フォーマット及び符号化方式	・ 現行の HDTV、UHDTV サービスを考慮した映像入力フォーマット及び高効率かつ高画質な符号化方式であること。 ・ 将来の拡張性を考慮した符号化方式であること。	・ 現行のデジタル有線テレビジョン放送方式と同等の映像入力フォーマット及び符号化方式である。
音声入力フォーマット及び符号化方式	・ 現行の HDTV、UHDTV サービスを考慮した音声入力フォーマット及び高効率かつ高音質な符号化方式であること。 ・ 多チャンネル音声放送が可能な符号化方式であること。 ・ 将来の拡張性を考慮した符号化方式であること。	・ 現行のデジタル有線テレビジョン放送方式と同等の音声入力フォーマット及び符号化方式である。

データ符号化方式		・ 将来の拡張性を考慮した符号化方式であること。 ・ 通信系のサービスとの連携を考慮した符号化方式であること。	・ 現行のデジタル有線テレビジョン放送方式と同等のデータ符号化方式が利用可能である。
多重化方式		・ 多様なサービスの柔軟な編成が可能な多重化方式であること。 ・ 通信系のサービスとの連携を考慮すること。 ・ 他のサービスとの相互運用性を考慮すること。 ・ 衛星等による放送波の再放送のような、他の放送ネットワークからの乗り移りの容易性を考慮すること。 ・ 自主放送信号及び再放送信号の独立性が確保できるように考慮すること。	・ 現行のデジタル有線テレビジョン放送方式と同等の多重化方式である。 ・ IP 伝送方式の採用により、通信系のサービスとの連携がより容易になっている。
限定受信方式	スクランブルサブシステム	・ 高度な秘匿性を有すること。 ・ 不正受信に対して十分な安全性を有し、脆弱性が発見された場合等に対応可能な機能を有すること。	・ 現行のデジタル有線テレビジョン放送方式と同等のスクランブル方式である。
	関連情報サブシステム	・ 関連情報伝送や限定受信機能に関して十分な安全性を有し、その安全性を継続的に維持・改善できること。 ・ 種々のサービス形態に対応するため、課金・収納方式等に自由度があり、弾力的な運用が可能であること。 ・ 個々の受信者へ向けた情報の伝送、表示が可能であること。 ・ 新規関連情報サブシステムへの更新や拡張性を考慮すること。 ・ 関連情報は可能な限り共通の形式によること。 ・ 関連情報の配付は、効率的で正確、確実なものであること。	・ 安全性の維持・改善については、受信機側でハードウェアを更新する方法、受信機側で記録媒体等を使ってソフトウェアを更新する方法、又は放送や通信を使ってソフトウェアを更新する方法により確保可能である。 ・ IP 伝送方式を採用することで、種々のサービス形態への対応、個々の受信者へ向けた情報伝送、表示等が可能である。 ・ 関連情報等に関しては、現行のデジタル有線テレビジョン方式と同等の対応が可能である。
伝送路	使用する IP アドレス	・ IP マルチキャスト方式の IP アドレスを対象とすること。	・ IP 伝送方式において利用する IP アドレスは、マルチキャストアドレスとした。

符号化方式	伝送帯域幅	放送サービスとして提供される放送信号の全てを伝送するために必要な帯域幅を確保すること。	IP 伝送方式において、提供しようとする放送サービスに必要な放送信号の全てを伝送するために必要な伝送帯域を確保することを技術的条件とした。
	伝送路のトラヒックの要求条件	放送のトラヒックが通信のトラヒックと伝送路を共有している場合、放送のトラヒックを安定的に伝送するための措置がとられていること。	IP 伝送方式において、放送のトラヒックを通信のトラヒックに優先して伝送する等の措置をとることを技術的条件とした。
	通信系	伝送路の帯域の有効利用及び多様なサービス、特に現行の HDTV、UHDTV サービスを伝送できるよう十分な伝送容量を確保できる通信方式であること。	現行において十分な実績のある IP ネットワークを対象としており、現行の HDTV、UHDTV サービスを伝送できる十分な伝送容量の確保が可能である。
	誤り訂正系	- 採用する通信方式との整合性が良いこと。 - 符号化効率が良いこと。 - サービスの要求に応じた誤り耐性の選択を考慮すること。ただし、伝送容量の低下を最小限にとどめること。	現行において十分な実績のある IP ネットワークを対象としており、符号化効率、誤り耐性の選択が可能である。
	伝送容量	通信サービスからのトラヒックの影響を考慮した上で、放送サービスとして提供しようとする放送信号を伝送するために必要十分な伝送ビットレートを確保できること。	現行において十分な実績のある IP ネットワークを対象としており、放送信号を伝送するために必要十分な伝送ビットレートを確保可能である。
受信機等への配慮		現行設備や受信機への負担等を考慮して、技術方式を選定すること。	現行設備で既に採用済み又は機能拡張することで対応可能な技術方式を採用した。

3.2.5 受信機

項目	要求条件	整合性
操作性	- 操作が簡単であること。 - 受信者や事業者の要求に応じて、受信機機能の更新が可能であること。 - 高齢者、障がい者等に配慮した操作性を有すること。 - 所望のサービスの選択が統一的な操作方法で行えることが望ましい。	民間規格及び受信機設計において考慮されることを想定した。

処理系	・番組視聴に必要となる、必要十分なメモリ容量及びその情報の処理機能・能力を持つこと。	・民間規格及び受信機設計において考慮されることを想定した。
インターフェース	・映像、音声出力については、既存の受信機における提供について考慮すること。 ・適切な著作権保護を実現する機能を有すること。 ・高速データ転送が可能であること。 ・多様な機器を複数接続でき、かつ、接続設定が容易であること。 ・受信機が対応するサービスに応じたインターフェースを有すること。	・民間規格及び受信機設計において考慮されることを想定した。
拡張性	・ハードウェア及びソフトウェアの追加、変更について考慮されていること。	・民間規格及び受信機設計において考慮されることを想定した。

4. インターネットプロトコル伝送の技術的条件

インターネットプロトコル伝送(以下、「IP 伝送」という)の技術的条件については、総務省において、ケーブルテレビの IP 放送に係る映像配信の在り方について検討するため、4 K・8 K時代に向けたケーブルテレビの映像配信の在り方に関する研究会が開催され、「4 K・8 K時代に向けたケーブルテレビの映像配信の在り方に関する研究会報告書」(参考資料4)(以下、「IP 放送報告書」)が取りまとめられている。技術的条件を検討するに当たっては、IP 放送報告書の検討結果を踏まえ、IP ネットワークを利用して行われる IP 放送の技術的条件として、安定的な伝送のための措置、伝送品質、伝送帯域、サービス可用性等について検討を行うこととした。

IP 伝送の技術的条件については、これまで RF 方式による伝送において用いられてきた搬送波という物理的な電磁波等の性質に基づく条件ではなく、IP パケットという論理的なトラヒックを管理する条件を基本として、電波による放送や RF 方式による放送の伝送品質と同等程度で柔軟性の高い技術基準の検討を行うこととした。

したがって、既存の RF 方式による有線テレビジョン放送方式として、有線一般放送の品質に関する技術的条件を定める省令(以下、「品質省令」という)の第2章第2節 デジタル有線テレビジョン放送方式による有線テレビジョン放送等を行う有線放送設備に係る条件と同等程度となるような技術的条件を検討する。なお、品質省令の第2章第2節には、RF 方式の技術基準として「入力信号の条件」、「搬送波の周波数」、「搬送波の変調等」、「搬送波等の条件」が規定されている。

地上基幹放送や衛星基幹放送の同時再放送を行うために空中線により放送波を適切に受信するための条件である「入力信号の条件」は、現行と同等程度の品質を確保するため、既存の規定を適用することとするが、「搬送波の周波数」、「搬送波の変調」、「搬送波等の条件」として規定されている技術的条件については、それらに替えて、「パケットの IP アドレス」、「総合品質」、「ネットワーク品質」、「安定品質」等に関する技術的条件を検討した。

4.1 システムの構成

4.1.1 IP 伝送型ケーブルテレビの構成例

本報告においては、ケーブルテレビのヘッドエンドから受信者端子までの間において、IP ネットワークを利用した IP マルチキャスト方式による放送システムを IP 伝送型ケーブルテレビということとする。IP 伝送型ケーブルテレビは、ネットワークの構成に応じて、地域 IP 伝送型ケーブルテレビ(図 4.1-1)及び広域 IP 伝送型ケーブルテレビ(図 4.1-2)を想定することができる。地域 IP 伝送型ケーブルテレビは、ヘッドエンドを中心とした一定の地

理的範囲内の受信者向けの IP 放送のサービスを提供するためのケーブルテレビシステムである。一方、広域 IP 伝送型ケーブルテレビは、一般に広域又は全国にネットワークが構築されている電気通信サービス用の IP ネットワークを利用した広域又は全国の受信者向けの IP 放送のサービスを提供するためのケーブルテレビシステムであり、広域又は全国で一律の放送サービスの提供も可能となっている。

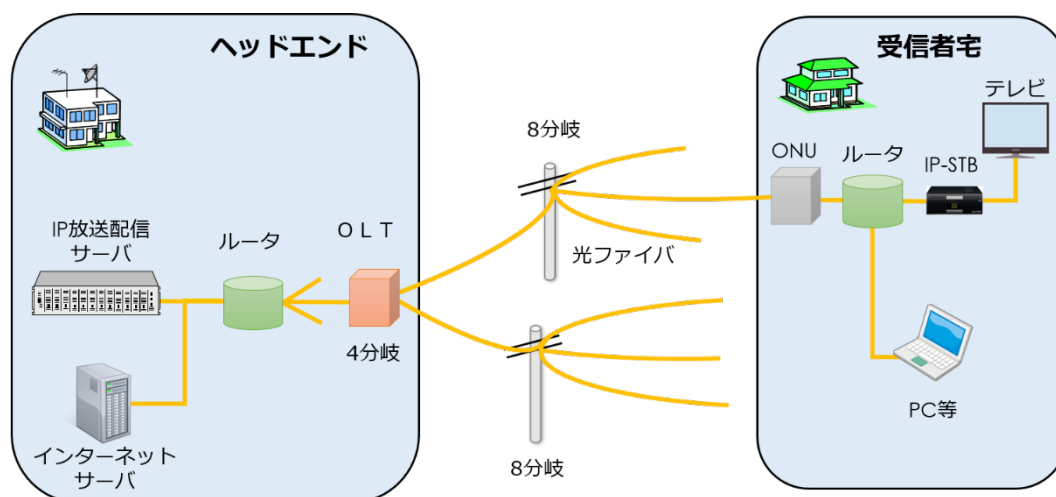


図 4.1-1 地域 IP 伝送型ケーブルテレビの構成例

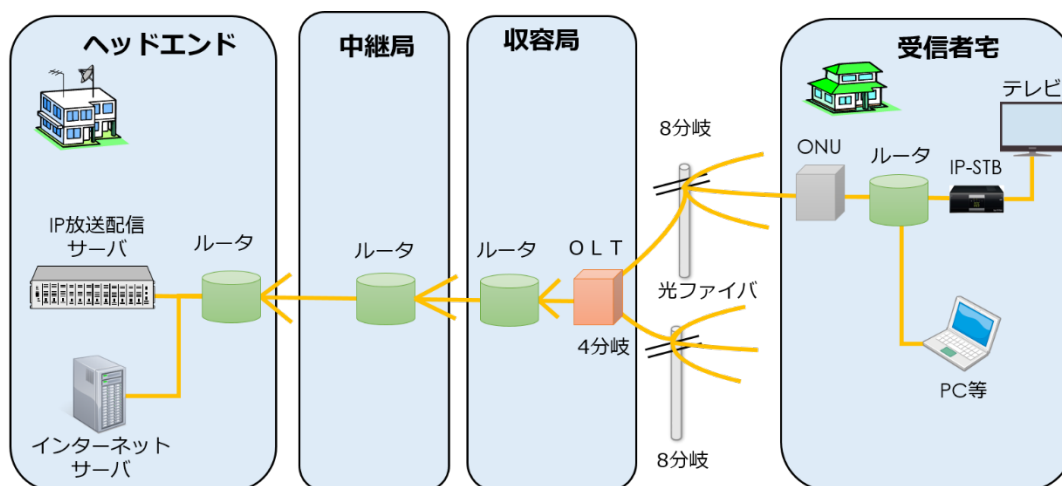


図 4.1-2 広域 IP 伝送型ケーブルテレビの構成例

4.1.2 IP 伝送型ケーブルテレビの構成要素

IP 伝送型ケーブルテレビは、FTTH の場合は、図 4.1-3 のように、アンテナ等、IP 放送送出装置等、ルータ、OLT (Optical Line Terminal)、光伝送

路、受信用光伝送装置[ONU: Optical Network Unit]、ルータ、受信者端子、受信設備 [IP-STB(Internet Protocol-Set Top Box)、IP 放送の受信機能を搭載したデジタルテレビ等（以下、「IP-STB 等」という）]の構成要素からなる。図 4.1-3 に示すヘッドエンド入力、ONU 入力及び出力、受信者端子の 4 つの規定点での性能規定を検討した。

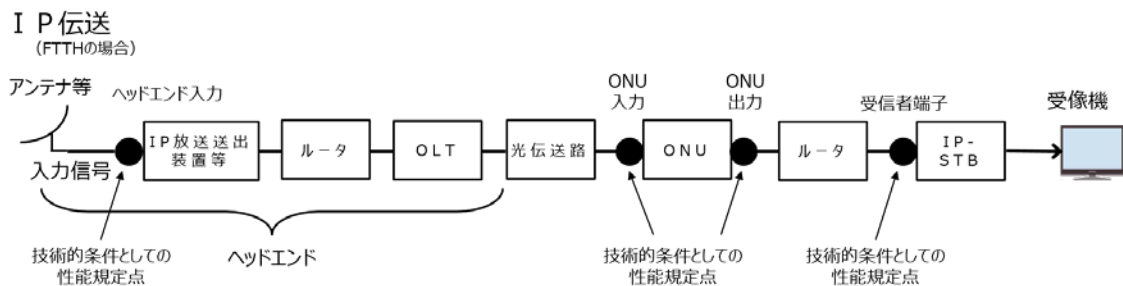


図 4.1-3 IP 伝送型ケーブルテレビの構成要素、性能規定点 (FTTH)

また、HFC の場合は、図 4.1-4 のように、アンテナ等、IP 放送送出装置等、ルータ、CMTS(Cable Modem Termination System)、光・同軸伝送路、保安装置、CM(Cable Modem)、ルータ、受信者端子、受信設備の構成要素からなる。図 4.1-4 に示すヘッドエンド入力、保安装置出力、受信者端子の 3 つの規定点での性能規定を検討した。

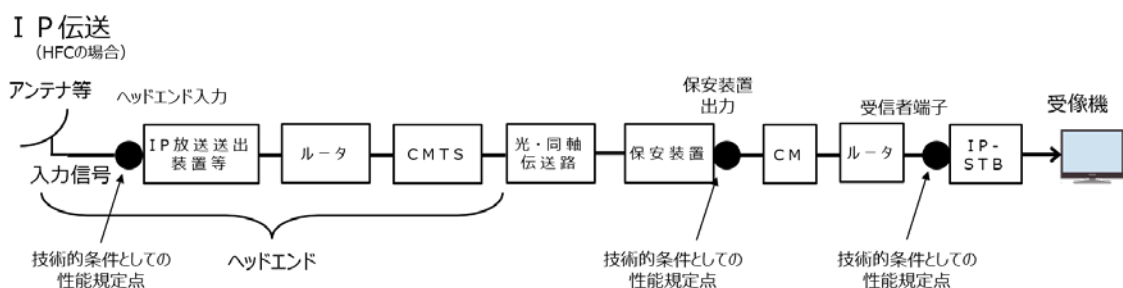


図 4.1-4 IP 伝送型ケーブルテレビの構成要素、性能規定点 (HFC)

また、性能規定を検討するにあたり、IP 伝送型ケーブルテレビに係る有線放送設備に関するレイヤモデルについて、図 4.1-5 のとおり整理し、主としてネットワーク層を対象に検討した。加えて、それらの性能とデータリンク層における性能との技術的な相関性について検討した。

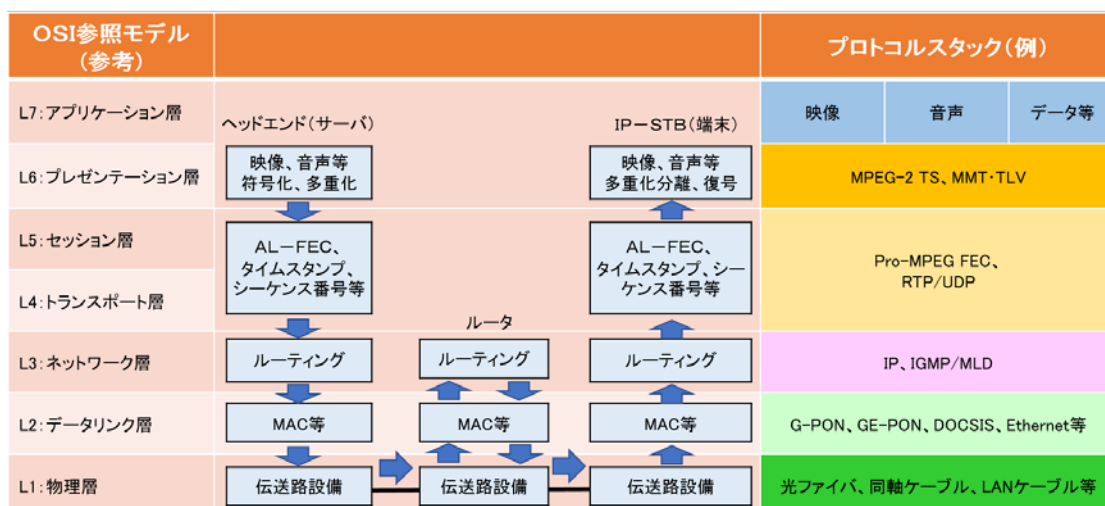


図 4.1-5 IP 伝送型ケーブルテレビ設備に関するレイヤモデル

4.2 に電気信号等に係る技術的条件として、①ヘッドエンドの入力端子における入力信号、②受信者端子における信号等に関する条件を、4.3 に受信者端子以外の性能規定点における技術的条件として、①受信用光伝送装置の入力端子又は出力端子、②保安装置の出力端子における信号等に関する条件を、4.4 に情報源符号化方式等に係る技術的条件として、①情報源符号化、多重化、誤り訂正、スクランブル、緊急警報信号等、②多重化(IP パケット化に係る部分に限る)等に関する条件を、4.5 にサービス可用性に関する技術的条件、4.6 に測定方法に関して検討した経緯と結果を示す。

4.1.3 地上放送、衛星放送等の放送方式の条件

- (1) 標準テレビジョン放送等のうちデジタル放送に関する送信の標準方式(総務省令)(以下、「デジタル放送の標準方式」という)第3章に規定する地上基幹放送局を用いて行う標準テレビジョン放送のうちデジタル放送及び高精細度テレビジョン放送に準拠する方式
- (2) デジタル放送の標準方式第5章に規定する 11.7GHz を超え 12.2GHz 以下の周波数の電波を使用する衛星基幹放送局を用いて行う標準テレビジョン放送、高精細度テレビジョン放送、超高精細度テレビジョン放送、超短波放送、データ放送に準拠する方式
- (3) デジタル放送の標準方式第5章に規定する 12.2GHz を超え 12.7GHz 以下の周波数の電波を使用する衛星基幹放送局を用いて行う標準テレビジョン放送、高精細度テレビジョン放送、超高精細度テレビジョン放送、超短波放送、データ放送に準拠する方式
- (4) 品質省令第 11 条第3項及び第4項に規定された条件に適合するデジタル有線テレビジョン放送方式による有線テレビジョン放送等に準拠する方式

4.2 電気信号等に係る技術的条件

4.2.1 ヘッドエンドの入力端子における入力信号の条件

ヘッドエンドの入力端子における入力信号の条件については、品質省令第9条に規定する入力信号の条件とする。

(理由)

IP 伝送における伝送品質は、品質省令第2章第2節で規定されたデジタル有線テレビジョン放送方式による有線テレビジョン放送等を行う有線放送設備に係る条件と同等程度の技術的条件を定めることとしているから、ヘッドエンドの入力端子における入力信号の条件についても同等の条件とすることが適当である。

4.2.2 受信者端子等における信号の条件

(1) IP 放送について

IP 伝送型ケーブルテレビは、「4K・8K時代に向けたケーブルテレビの映像配信の在り方に関する研究会報告書」(以下、「IP 放送報告書」という)のIP 放送に相当するものとする。IP 放送報告書においては、IP 放送は、「ケーブルテレビ事業者等により、ヘッドエンドから受信者端子までの間において、管理されたIP ネットワークを利用した、IP マルチキャスト方式による通信であって、放送法における放送に該当するもの」と定義されていることから、本報告においても同等の定義を採用する。なお、管理されたIP ネットワークとは、少なくとも4.2.2.2 総合品質及び4.2.2.3 ネットワーク品質、4.2.2.4 安定品質の技術的条件の全てを満たすIP ネットワークのこととする。

(2) IP 伝送型ケーブルテレビの技術的条件の考え方

IP 放送を行うIP 伝送型ケーブルテレビに係る受信者端子等における信号の条件は、IP 放送報告書の検討結果も踏まえ検討する。

IP 伝送は、ルーティング処理やトラヒックの混雑、アクセス網等を共有している場合には他者のトラヒックによる影響等により生じるパケットの遅延や損失等に対処する必要がある。品質省令の伝送品質に係る技術基準としては、ヘッドエンドの主たる機器の入力端子における入力信号を、受信者端子において、実質的に誤りを生じない水準で受信するための技術的条件を規定していることから、IP 伝送においても同等程度の技術的条件とすることが適当である。

さらに、伝送品質を検討するにあたっては、放送には同一の内容を不特定多数の者が同時に視聴できるという特徴があることを考慮する必要がある。

なお、ITU-T 勧告 J. 241 (Quality of service ranking and measurement method for digital video services delivered over broadband IP networks)には、パケットの損失率、パケットの遅延、パケットのジッタ(到達時刻の揺らぎ)、スループット、サービス可用性、前方誤り訂正等が IP ネットワークの伝送品質を評価する指標として挙げられている。

(3) 他の事業者等が提供する電気通信役務用の回線の利用

ケーブルテレビのネットワークの一部に他の事業者等が提供する電気通信役務用の回線を利用する場合は、電気通信回線の性能を適切に配分して回線の区間ごとに必要な伝送品質を確保したり、安定的な伝送のための措置や伝送帯域を確保等するなどにより、ケーブルテレビのネットワーク全体の性能を確保することが必要である。ケーブルテレビ事業者等は、当該他の事業者等と利用する回線の区間に応じ、総合品質、ネットワーク品質、安定品質等について確認することが適当である。

4. 2. 2. 1 パケットの IP アドレス等

IP 伝送による放送番組の伝送に際して利用される IP パケットに宛先として付与される IP アドレスは、IPv4 の場合は RFC 5771 (IANA Guidelines for IPv4 Multicast Address Assignments)、IPv6 の場合は RFC 4291 (IP Version 6 Addressing Architecture)に定められるマルチキャストアドレスとする。

(理由)

デジタル有線テレビジョン放送方式では、品質省令において、搬送波の変調の型式に 64 値直交振幅変調等を用いる場合は、放送番組を送るためのチャンネルを、受信者端子における搬送波の周波数として個別に規定し、受信設備では当該周波数を使用して、放送番組を選局し、受信している。

一方、IP 伝送型ケーブルテレビは、IP マルチキャスト方式により放送するから、IP 放送送出装置等は、搬送波の周波数に相当するものとして、IP アドレスのうち、マルチキャストアドレスを宛先として IP パケットを送出し、受信設備は当該マルチキャストアドレス又はマルチキャストアドレスと送信元の IP アドレスの組み合わせを使用して放送番組を選局し、受信する。

したがって、搬送波の周波数に相当する条件として、ヘッドエンドから受信者端子まで、放送番組の IP 伝送に際して利用される IP パケットに宛先として付与される IP アドレスはマルチキャストアドレスとすることが適当である。

なお、マルチキャストアドレスは、IETF (Internet Engineering Task Force)によって発行された RFC に定められるものが、国際的に標準として利用されているから、RFC 5771 (IANA Guidelines for IPv4 Multicast Address Assignments)、RFC 4291 (IP Version 6 Addressing Architecture)等に定められる以下のマルチキャストアドレスとすることが適当である。

(1) IPv4 のマルチキャストアドレス

32 ビットの IP アドレスの先頭 4 ビットが 1110 で始まり、続いて、28 ビットのグループ ID で構成された IP アドレスを使用する。

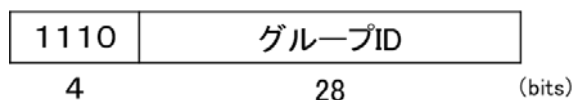


図 4.2-1 IPv4 のマルチキャストアドレスの構成

ただし、RFC 5771 に定められた以下の区分に従って利用することとし、IP 伝送型ケーブルテレビの番組伝送には、Administratively Scoped Block、Source-Specific Multicast Block の IP アドレスの範囲内のものを利用することが望ましい。なお、以下に記載のない IP アドレスは、予約等とされているものである。

IP アドレスの範囲	目的
224. 0. 0. 0-224. 0. 0. 255	Local Network Control Block
224. 0. 1. 0-224. 0. 1. 255	Internetwork Control Block
224. 0. 2. 0-224. 0. 255. 255	AD-HOC Block I
224. 3. 0. 0-224. 4. 255. 255	AD-HOC Block II
232. 0. 0. 0-232. 255. 255. 255	Source-Specific Multicast Block
233. 0. 0. 0-233. 251. 255. 255	GLOP Block
233. 252. 0. 0-233. 255. 255. 255	AD-HOC Block III
239. 0. 0. 0-239. 255. 255. 255	Administratively Scoped Block

(2) IPv6 のマルチキャストアドレス

128 ビットの IP アドレスの先頭 8 ビットが 11111111 で始まり、続いて、4 ビットのフラグ、4 ビットのスコープ、112 ビットのグループ ID で構成された IP アドレスを使用する。



図 4.2-2 IPv6 のマルチキャストアドレスの構成

ただし、フラグ、スコープの構成は、RFC 4291 の定めに従い、スコープの区分は以下のとおり。IP 伝送型ケーブルテレビの番組伝送には、Organization-Local scope、Global scope のマルチキャストアドレスを利

用することが望ましい。なお、以下に記載のないスコープは、予約等とされているものである。

スコープの値(16進)	目的
1	Interface-Local scope
2	Link-Local scope
3	Realm-Local scope
4	Admin-Local scope
5	Site-Local scope
8	Organization-Local scope
E	Global scope

なお、放送番組の選局は、放送番組毎に関連づけられたマルチキャストアドレス又はマルチキャストアドレスと送信元の IP アドレスの組み合わせ(放送番組のチャンネルに相当)を選択することにより行われる。具体的な選局等の処理は、IPv4 の場合は IGMP(Internet Group Management Protocol)、IPv6 の場合は MLD(Multicast Listener Discovery Protocol)を利用して行う。当該プロトコルの主な機能は、受信者の選局操作に基づき、選局された放送番組の受信を開始すること(JOIN)及び終了すること(LEAVE)である。

IGMPv2 は RFC 2236(Internet Group Management Protocol, Version 2)、IGMPv3 は RFC 3376(Internet Group Management Protocol, Version 3)及び RFC 4604(Using Internet Group Management Protocol Version 3 (IGMPv3) and Multicast Listener Discovery Protocol Version 2 (MLDv2) for Source-Specific Multicast)に、MLDv2 は RFC 3810(Multicast Listener Discovery Version 2 (MLDv2) for IPv6)及び RFC 4604 に定められている。なお、IGMPv3 は機能的には MLDv2 に相当するプロトコルである。

4.2.2.2 総合品質

IP 伝送における総合品質は、受信者端子におけるパケットの損失率とし、 1×10^{-7} 以下の技術的条件を満たすこととする。

(理由)

(1) パケットの損失率

ヘッドエンドの主たる機器の入力端子における入力信号が受信者端子において正確に復元できるという同一性を確保する観点から、受信者端子におけるパケットの損失率に関する技術的条件を、受信者端子に接続した受信設備により放送番組の受信を確保するための上位層における補正を考慮した総合品質とすることが適当である。

技術的条件を検討するに当たり、(一社)日本ケーブルラボにおいて、実証試験を実施した(実証試験の詳細は、「IP 放送伝送品質実証実験報告書」(参考資料 1)を参照)(以下、「IP 放送実証試験報告書」という)。実証試験においては、送信側で、TS(Transport Stream)のストリームをパケット化した RTP/UDP パケット(IP パケットのペイロード。詳細は 4.4.2 を参照)のストリームを、エミュレータ等によって、当該パケットの損失率を 1×10^{-3} から 1×10^{-7} まで変化させたストリームを発生させ、疑似的な伝送路を経由させた後、受信側で、TS アナライザにより、パケットの損失率、TS のストリームとしての規格適合性について測定した。併せて IP-STB を接続して映像及び音声の状態を観察した。

パケット損失率が 1×10^{-5} 以上までの場合は、映像にブロックノイズが入ることが視認可能であった。パケット損失率が 1×10^{-5} 未満(1×10^{-6} 以下及び 1×10^{-7} 以下)の場合は、誤り検出時点の映像を個別に確認すればブロックノイズ等を視認できる場合があるが、通常の視聴状態での視認は難しいとの結果が得られている。

一方で、現行の品質省令で規定されている誤り訂正後のビット誤り率 1×10^{-11} は、TS ストリームの伝送容量を 15Mbps とすると、平均的には 2 時間程度は誤りが生じない水準と考えることができる。これをパケット損失率で考えると、通常の RTP パケットに TTS パケット(パケットサイズ 192 × 8 ビット)が 7 パケット挿入されている場合、RTP パケットの 1 パケット当たりのサイズは、 1.08×10^4 ビットとなるから、伝送容量 15Mbps で平均的に 2 時間程度は誤りが生じない水準としては、 1.0×10^{-7} 程度のパケット損失率に相当すると考えられる。なお、伝送容量に応じて、誤りが生じる頻度は異なるが、実証試験においては、12Mbps、30Mbps、60Mbps、80Mbps のいずれの伝送容量でも、誤り検出時の映像の状態については同様であるとの結果が得られている。

以上を踏まえ、受信者端子におけるパケットの損失率に関する技術的条件としては 1×10^{-7} 以下とすることが適当である。

なお、パケットの損失率は、受信設備による上位層の前方誤り訂正(AL-FEC: Application Layer Forward Error Correction)により改善が可能であるから、AL-FEC を使用する場合は、当該前方誤り訂正後の損失率とすることが適当である(図 4.2-3 のストリーミング処理部における AL-FEC 処理後)。

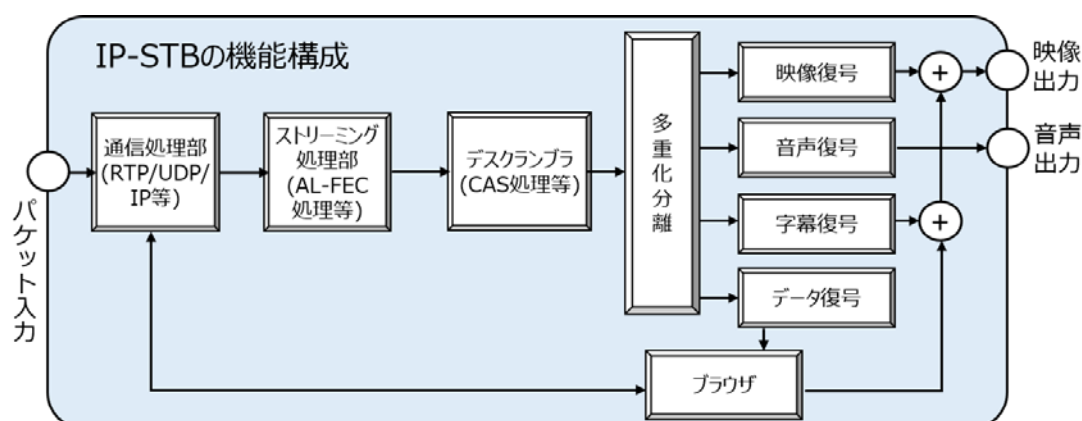


図 4.2-3 IP-STB 等の機能構成例

(2) 上位層における前方誤り訂正 (AL-FEC)

ヘッドエンドから受信者端子までの間でパケットの損失が生じた際に、その損失に対処する手段として、AL-FEC がある。AL-FEC については、技術基準とはせず、利用するか否かは事業者の判断となるが、パケットの損失率の技術基準への適合性を評価する際に考慮することが適当である。

AL-FEC のデータ構造等については、IETF の RFC 2733 (An RTP Payload Format for Generic Forward Error Correction)、RFC 5109 (RTP Payload Format for Generic Forward Error Correction) などに定められている。一方、具体的な AL-FEC については、(一社) IPTV フォーラムの IPTV 規定地上デジタルテレビジョン放送 IP 再送信運用規定 (IPTVFJ STD-0005 1.4 版) (以下、「IPTV 再送信運用規定」という)「第 6 編 通信運用規定」で定められており、Pro-MPEG FEC Code of Practice #3 release2 (以下、「Pro-MPEG FEC」という)を採用している。

Pro-MPEG FEC は L (横方向) $\times$ D (縦方向) 個のパケットを 2 次元に配置し、縦方向、横方向の各パケットに演算 (XOR) を施して得られた FEC パケットを利用して誤り訂正を行う方法である。縦方向のみの FEC パケットを利用する Pro-MPEG 1D FEC、縦方向及び横方向の FEC パケットを利用する Pro-MPEG 2D FEC がある。図 4.2-4 は $L=10$ 、 $D=10$ の FEC パケットを生成するためのパケット配置図である。100 個のパケットに対して、Pro-MPEG 1D FEC の場合は縦方向の FEC パケットが 10 個、Pro-MPEG 2D FEC の場合は、縦方向及び横方向を合わせて FEC パケットが 20 個生成されることとなる。

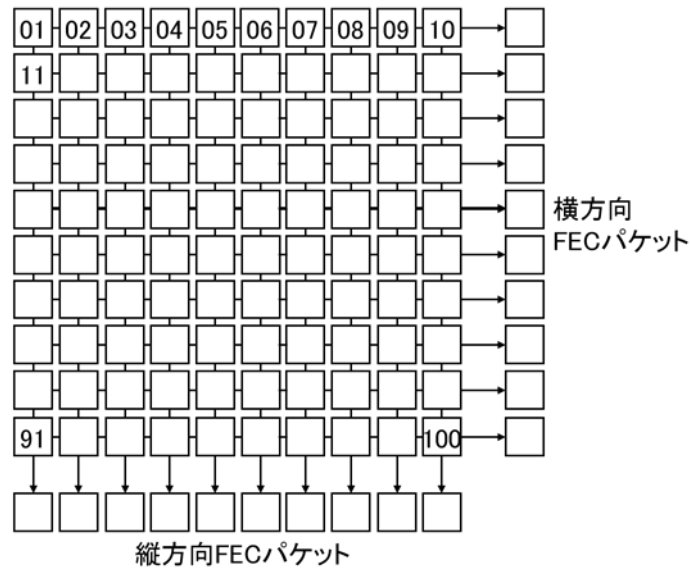


図 4.2-4 Pro-MPEG FEC におけるパケット配置

IP 放送実証試験報告書によれば、Pro-MPEG FEC の誤り訂正能力は、誤り訂正前のパケット損失率に依存しており、誤り訂正前と誤り訂正後のパケット損失率の関係は、Pro-MPEG 1D FEC の $D=5$ と、 $D=10$ の場合については、図 4.2-5 のとおりである。この場合、誤り訂正後においてパケット損失率 1×10^{-7} 以下を得るためには、誤り訂正前のパケット損失率が 1×10^{-4} 以下である必要がある。なお、この誤り訂正能力は、ランダムに発生する誤りに対するものである。

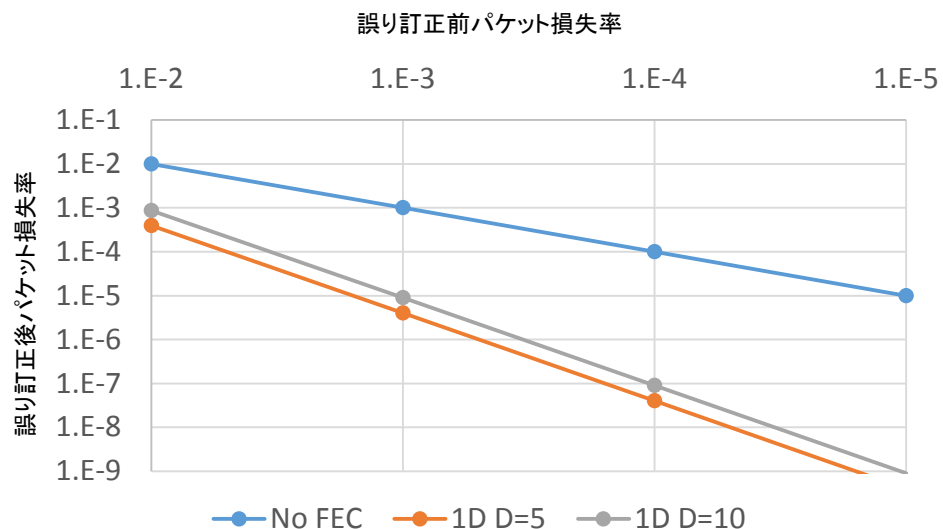


図 4.2-5 Pro-MPEG 1D FEC における誤り訂正能力

4.2.2.3 ネットワーク品質

IP 伝送におけるネットワーク品質は、ヘッドエンドから受信者端子までの間において、以下の(1)及び(2)の技術的条件を満たすこととする。

(1)パケットの遅延は、1.0 秒以下

(2)パケットのジッタは、100 ミリ秒以下

(理由)

ヘッドエンドの主たる機器の入力端子の入力信号が受信者端子において正確に復元できるという同一性、入力端子の入力信号が受信者端子に同時と考えられる一定の時間内に到達するという同時性を確保する観点から、受信者端子におけるパケットの遅延、ジッタ(到達時刻の揺らぎ)に関する技術的条件をネットワーク品質とすることが適当である。

(1)パケットの遅延

遅延とは、パケットをヘッドエンドの主たる機器の入力端子から受信者端子まで伝送するために要する時間とする。ただし、ヘッドエンドで行われる情報源符号化、多重化、スクランブル等(以下、「情報源符号化等」という)は、放送番組の画質等事業者の提供するサービスの品質等に係るものであり、必要に応じ、任意規格等により対応することが適当であるから、情報源符号化等に要する時間は当該遅延には含まないこととする。なお、再放送に際しては、トランスコードや再スクランブルをしない場合には、ヘッドエンドで情報源符号化等の処理は行われないのが通常である。自主放送の場合も情報源符号化等の処理は、送出に先立って行われるのが通常である。

遅延の検討に当たっては、入力端子の入力信号が受信者端子に同時と考えられる一定の時間内に到達するという同時性を確保する観点からは、様々な考え方を採ることができる。本報告では、一つの考え方として、放送番組の伝送遅延に対する視聴者の感覚として、どの程度であれば遅れていると感じないかという観点から、映像や音声等は高度な符号化が行われており、復号には一定の時間を要することを踏まえ、特に最大の容量を有する映像に係るストリームの復号に要する時間を基準に考えることとする。映像の符号化方式である ITU-T 勧告 H. 262 (MPEG-2)、H. 264 (MPEG-4 AVC)、H. 265 (HEVC) のいずれの方式であっても、前後のフレームとは独立して復号可能なフレーム (Intra Frame : 以下、「I フレーム」という) が周期的に出現し、受信設備では選局後、当該フレームを受信してから映像が再生されることとなる。「デジタル放送における映像符号化、音声符号化及び多重化方式 標準規格」(ARIB STD-B32)において、遅延時間に関する制約として、H. 265 (HEVC)における I フレームの間隔は原則 32/60 秒以内で最大 1.0 秒、また、その復号処理遅延は 0.5 秒以下とされている。これに

より、放送波を直接受信する場合においても、映像を再生するには、I フレームの待機時間と受信設備の処理時間が必要であり、受信開始から映像が再生されるまでに 0.5～1.5 秒程度の遅延が生じている。したがって、パケットの遅延を、当該遅延の平均程度以下、すなわち 1.0 秒以下とすることで、パケットの遅延と映像を再生するまでの処理時間を合わせて 1.5～2.5 秒以下とすることができ、視聴者の感覚からは同時性の観点で違和感がないと考えられるから、パケットの遅延に関する技術的条件としては、1.0 秒以下とすることが適当である。

なお、将来、出現すると想定される新たな映像符号化方式において、同様の考え方を採り得るか否かについては、新たな映像符号化方式が国際標準等として規格化された時点で改めて検討することが適当である。

(2) パケットのジッタ

技術的条件を決定するに当たり、(一社)日本ケーブルラボにおいて実証試験を実施した。実証試験においては、送信側において、エミュレータにより遅延を 100～500ms の範囲で変化させることでジッタを発生させて、受信側において、TS アナライザによりジッタを測定した。併せて、IP-STB を接続して映像音声の状態を観察した。

TS アナライザで測定されたジッタは非常に小さな値となっているが、TS アナライザ自身はジッタを吸収するバッファを有していないため、ジッタに対応せず、受信エラーを検出したが、IP-STB はジッタに対応して映像及び音声を適切に受信することができ、映像品質等に影響は出なかった。

また、(一社)IPTV フォーラムの IPTV 再送信運用規定「第 7 編 送出運用規定」において、ガイドラインとして、パケット受信時のジッタは 100 ミリ秒以下(送出設備及びネットワークにおける合計値)が望ましいとされており、既に市場に供給されている受信設備も本規定に基づいて製造され、市場で利用されている実績がある。

したがって、ジッタについては、IP 放送実証試験報告書によれば、適切な容量のバッファを IP-STB 等が有していれば、放送番組の視聴に影響は出ないことから、既に利用の実績がある、IPTV 再送信運用規定のガイドラインを踏まえ、技術的条件としては、100 ミリ秒以下とすることが適当である。

(3) 緊急地震速報等

IP 伝送による緊急地震速報等を含む再放送等を行う場合、緊急地震速報等については、その性質から特に迅速な提供が可能な方式により行うことができるよう、民間規格等において、十分に短い時間で伝送できるよう配慮することが適当である。

4.2.2.3 安定品質

IP 伝送における安定品質は、ヘッドエンドから受信者端子までの間において、以下の(1)及び(2)の技術的条件を満たすこととする。

(1) 安定的な伝送のための措置

品質省令第2章第2節で規定されたデジタル有線テレビジョン放送方式による有線テレビジョン放送等を行う有線放送設備に係る条件と同等の安定性を確保するために必要な以下のいずれかの措置を講ずる。

- ① IP 伝送による放送番組の伝送に際して利用されるパケットを優先的に伝送するために必要な措置
- ② IP 伝送による放送番組の伝送に際して利用されるパケットのみを伝送する帯域を確保するために必要な措置

(2) 伝送帯域

ヘッドエンドから受信者設備までの間における以下の区間においてそれぞれ十分な伝送帯域を有するものとする。

- ① 中継系伝送路設備においては、提供する全ての放送番組を伝送するために必要な伝送帯域
- ② アクセス系伝送路設備においては、受信者端子において提供しようとする放送番組の全てを伝送するために必要な伝送帯域

(理由)

IP 伝送は、RF 方式による伝送と比較して、放送用と通信用の周波数が固定的に割り当てられていないため、伝送路を柔軟に利用して、放送と通信のトラヒックを効率的に伝送することが可能になっている。一方で、一般に放送と通信のトラヒックが同じ伝送路を共用しており、時間帯や地域に応じてトラヒックの変動が生じ、また、送信側、受信側の状況により、トラヒックが想定範囲を超えて大きく変動する可能性がある。

通信のトラヒックの変動にかかわらず、放送のトラヒックを安定して伝送するためには、ケーブルテレビ事業者等は、IP ネットワークを含む有線放送設備を適切に設計、構成、運用することが必要である。ただし、これに必要なコストや運用等がケーブルテレビ事業者等の過大な負担にならないように留意する必要がある。

IP ネットワークを利用して、放送のトラヒックを安定的に伝送する観点から、ヘッドエンドから受信者端子までの区間において、安定的な伝送ための措置、伝送帯域に関する技術的条件を、安定品質とすることが適当である。

(1) 安定的な伝送のための措置

IP 伝送により、放送のトラヒックを安定的に伝送するためには、放送

トラヒックの優先制御を行うこと、放送トラヒックのための専用帯域を確保すること等があり技術基準としてこれらの要件化を検討することが適当である。

放送トラヒックの優先制御は、IP パケットのヘッダ部のサービス種別 (Type of Service: IPv4 の場合) 又はトラヒッククラス (Traffic Class: IPv6 の場合) の先頭 3 ビットを利用して、IP パケットの優先度を設定することにより行う。最大 8 段階の優先度の設定が可能となるが、IP 放送送出装置等において、放送のトラヒックには十分に高位の優先度を設定した上で、ルータ等により当該優先度の設定を参照して、放送トラヒックが通常の通信トラヒックよりも優先的にルーティング、伝送されるように処理する必要がある。優先制御に関して、設定した優先度と同等以上の優先度のトラヒックが集中することにより放送トラヒックの安定品質が低下しないような技術的な手段が確保されるとともに、IP ネットワークの有する伝送帯域や利用者の動向等を踏まえ、IP ネットワークの監視や必要に応じた伝送帯域の拡張等の適切な運用を行うことが必要である。

放送トラヒックの専用帯域の確保は、論理的又は物理的に放送トラヒックのみが伝送される帯域を利用してルーティング、伝送を行う必要がある。専用帯域を確保している場合についても IP ネットワークの監視や必要に応じた伝送帯域の拡張等の適切な運用を行うことも必要である。

(2) 伝送帯域

ケーブルテレビ事業者等は、映像及び音声のほか、放送事業者等が送信しようとしている放送に係る信号の全てを含む情報を送るための IP ネットワークの帯域として、中継網やアクセス網などにおいて、受信者に対して提供しようとする放送サービスの提供条件に基づき、必要な帯域を確保することが必要である。

なお、ここでいう必要な帯域の確保とは、中継網、アクセス網等における伝送に利用する通信方式について ITU、IEEE 等の規格で定められた伝送帯域の値を用いて算出された帯域があることで足りると考えることが適当である。

必要な帯域を算出にするにあたり、各受信者の家庭では、複数の受信設備による視聴や裏番組の録画など複数の放送番組を同時に受信するニーズが想定されるため、放送番組を複数同時に提供することが望ましいが、4 K・8 K等の大容量の映像を含む放送番組については、最低限、1 番組を伝送することを確保することが必要である。ケーブルテレビ事業者等が受信者に対して提供しようとする放送サービスの提供条件に応じて、2 番組以上の放送番組を同時に受信者に対して伝送する必要がある。

ある場合には、当該事業者においては、同時に伝送する番組数に応じた帯域を確保することが必要である。

IP 伝送による放送信号の伝送に必要な帯域は、放送番組の映像信号、音声信号、データ信号その他の信号の伝送に必要な帯域を番組の種類（標準テレビジョン放送、高精細度テレビジョン放送、超高精細度テレビジョン放送等）毎に算出し、ケーブルテレビ事業者等は、受信者に対して提供しようとする放送サービスの提供条件に応じて、必要な帯域を確保することが適当である（図 4.2-7 に伝送帯域の算出方法の事例を示す）。

（参考 4.2-1）映像・音声・字幕等により構成される放送番組の伝送に利用される容量

地上放送 (2K)	約 24Mbps [H. 262] 約 15Mbps [H. 264]
ケーブル 4 K (4K)	約 29Mbps [H. 265]
新 4K8K 衛星放送 (4K)	約 33Mbps [H. 265]
新 4K8K 衛星放送 (8K)	約 100Mbps [H. 265]

（参考 4.2-2）放送システム委員会報告（平成 26 年 3 月 25 日参考資料 9 60/P 及び 60/I 映像の所要ビットレート確認実験）

映像フォーマットの例	所要ビットレート (テストモデルを用いた推定)
1080/60/I (2K)	10Mbps～15Mbps [H. 265]
1080/60/P (2K)	10Mbps～15Mbps [H. 265]
2160/60/P (4K)	30Mbps～40Mbps [H. 265]
4320/60/P (8K)	80Mbps～100Mbps [H. 265]

ケーブルテレビ事業者等は、中継系伝送路設備のコア網及び中継網においては、当該事業者が提供する全ての番組を送信することができる帯域、アクセス系伝送路設備のアクセス網においては、当該事業者が受信者に対して同時に提供するとしている番組数に応じて、必要な数の番組を同時送信することができる帯域を確保することが必要である（コア網、中継網、アクセス網の伝送路の区分については、図 4.2-4、図 4.2-5、図 4.2-6 を参照）。

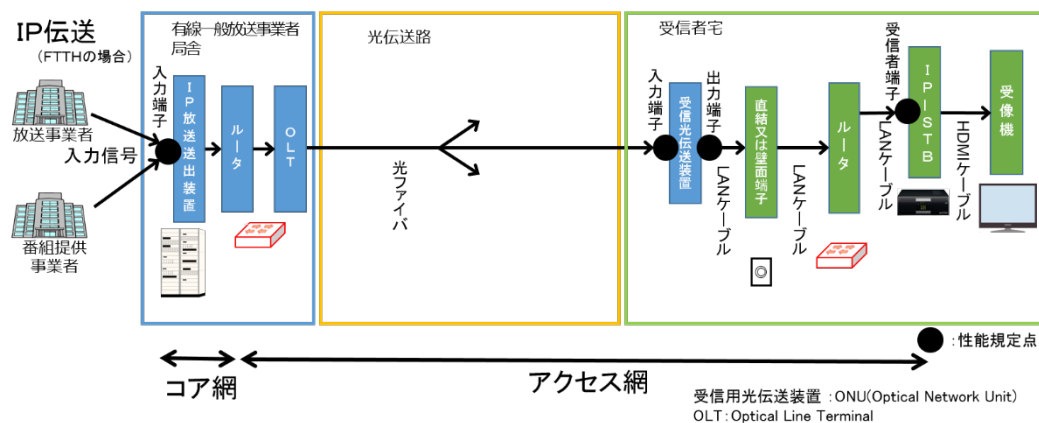


図 4.2-4 IP 伝送網の区分 (FTTH、地域 IP 伝送型)

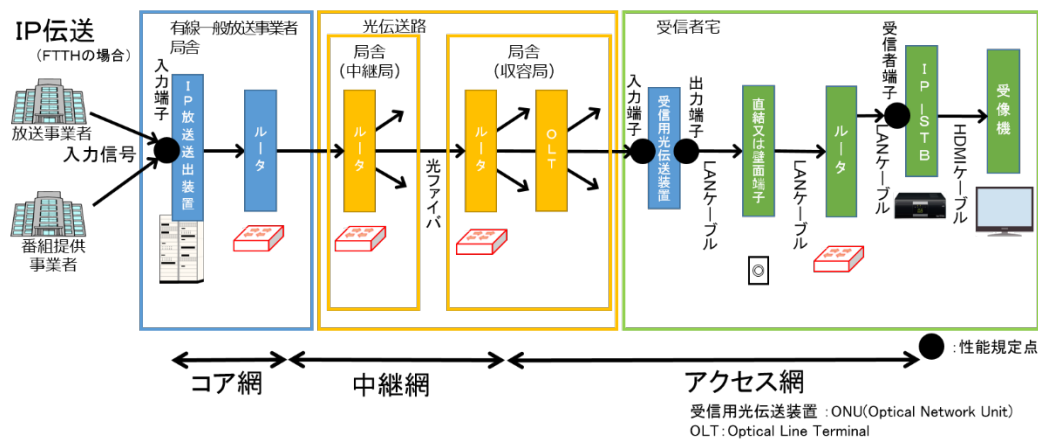


図 4.2-5 IP 伝送網の区分 (FTTH、広域 IP 伝送型)

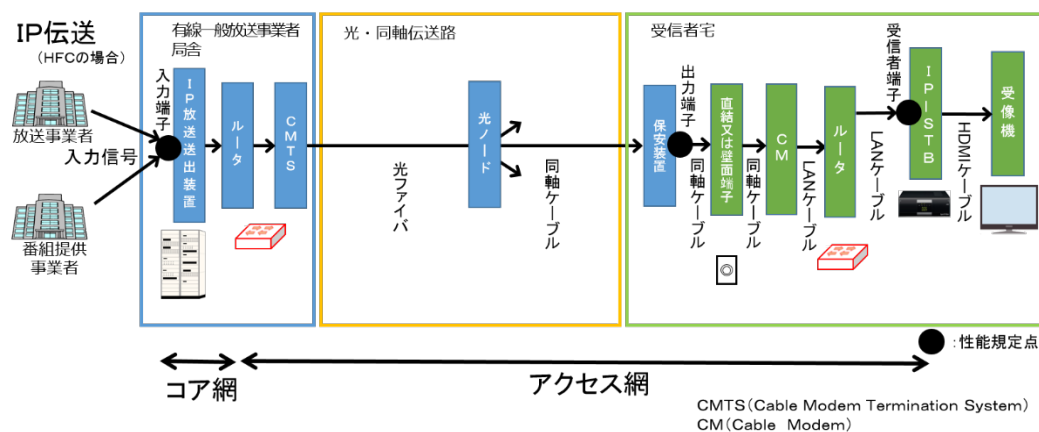


図 4.2-6 IP 伝送網の区分 (HFC、地域 IP 伝送型)

○ケーブルテレビ事業者等が、地上放送[HD]9番組、衛星放送[HD]29番組、自主放送[HD]70番組、ケーブル4K等[4K]2番組の放送サービスを提供し、加入者に対して、4Kは1番組、その他は2番組を同時提供することとした場合の事例

必要な帯域の算出				
地上放送[HD, H. 264]	15Mbps	×	9番組	=135Mbps
衛星放送[HD, H. 264]	15Mbps	×	29番組	=435Mbps
自主放送(多チャンネル番組)[HD, H. 264]	6Mbps	×	70番組	=420Mbps
自主放送(ケーブル4K等)[4K, H. 265]	29Mbps	×	2番組	=58Mbps
			合計	1,048Mbps

○コア網及び中継網で必要な帯域(全番組を伝送可能な帯域)

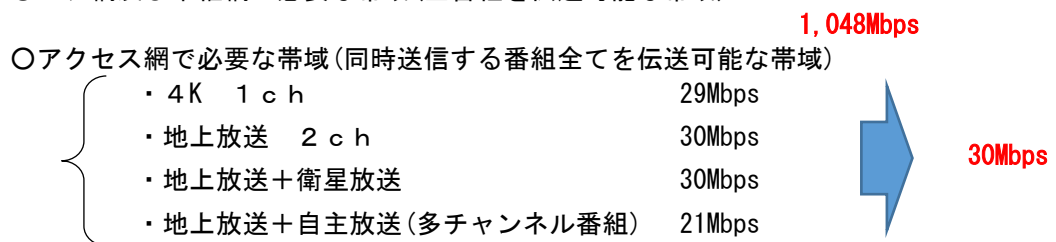


図 4.2-7 伝送帯域の算出方法の事例(IP放送報告書より抜粋)

4.2.2.4 受信者端子間分離度及び受信者端子におけるその他の条件等

IP伝送に係る受信者端子の技術的条件として、受信者端子間分離度及び受信者端子におけるその他の条件等は適用しない。

(理由)

IP伝送に係る受信者端子における信号の条件として、IPパケットのアドレス、ネットワーク品質、安定品質に係る技術的条件となっており、電磁波に関する技術的条件ではないから、現行の受信者端子間分離度及び受信者端子におけるその他の条件等の規定を適用する必要はない。

4.3 受信者端子以外の性能規定点における技術的条件

4.3.1 受信者宅内ネットワークの構成

受信者宅内ネットワークは、受信者宅(戸建て、集合住宅等)の構造に応じて、様々な形態があるが、本報告では受信者宅内の最も基本的なネットワーク構成を対象に技術的条件を検討する。当該検討に際しては、IPネットワークにおけるルーティングはルータ等の機能により実現されていることから、IP伝送型ケーブルテレビにおける受信者端子については、STBの機能を有する機器とルータ等を含む一体の設備を受信設備とみなすことができること

とし、この場合、当該受信設備の入力端子を受信者端子とすることが適当である。

なお、基本的なネットワークとは異なる形態のものについては、IP 放送報告書にあるとおり、その多様性・複雑性に鑑みて、民間標準化団体等の主導の下、民間規格による技術仕様の策定、それを活用した推奨や認証の仕組みを進めていくことを期待するとともに、一般には、ケーブルテレビ事業者等と受信者の間の契約約款等に基づき個々のケースに応じた対応をしていくことが適当である。

4.3.2 受信者宅内ネットワークの構成要素

受信者宅内ネットワークは、FTTH の場合は、図 4.3-1 のように、ONU(受信用光伝送装置)の出力端子、ルータ、受信者端子、受信設備の構成要素からなる。

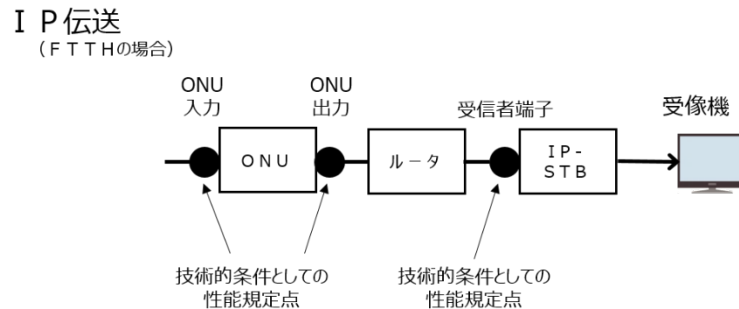


図 4.3-1 受信者宅内ネットワークに関する構成要素、性能規定点(FTTH)

また、HFC の場合は、図 4.3-2 のように、保安装置の出力端子、CM(Cable Modem)、ルータ、受信者端子、受信設備の構成要素からなる。

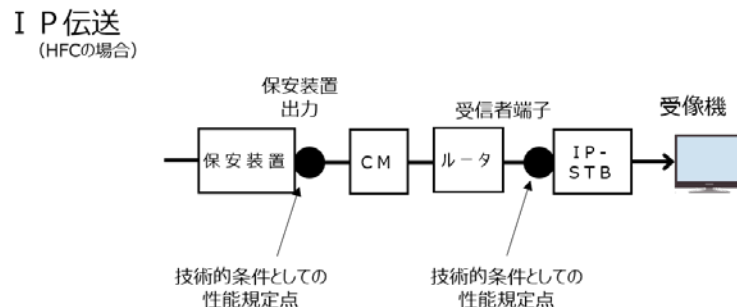


図 4.3-2 受信者宅内ネットワークに関する構成要素、性能規定点(HFC)

4.3.3 受信用光伝送装置の入力端子又は出力端子

受信用光伝送装置の入力端子又は出力端子においては、技術的条件は定め
ないこととする。

ただし、IP-STB 等の機能を有する機器とルータ等を含む一体の設備を受
信設備とみなすことができるから、この場合、当該受信設備の入力端子を受
信者端子とみなして、受信用光伝送装置の出力端子における技術的条件は、
受信者端子における技術的条件と同等と考えることができる。

(理由)

IP 放送実証試験報告書の実証試験の結果に基づけば、受信用光伝送装置
の入力端子における受光レベルとパケット損失率の相関係数 $|R|$ は、80Mbps
と 12Mbps のデータを伝送した場合、それぞれ、 $|R| \doteq 0.739$ 、 $|R| \doteq 0.810$ と
され、パケットの損失率と受信用光伝送装置の入力端子における受光レベル
には、一定の相関関係があることが認められる(80Mbps 場合：図 4.3-3、
12Mbps の場合：図 4.3-4)。

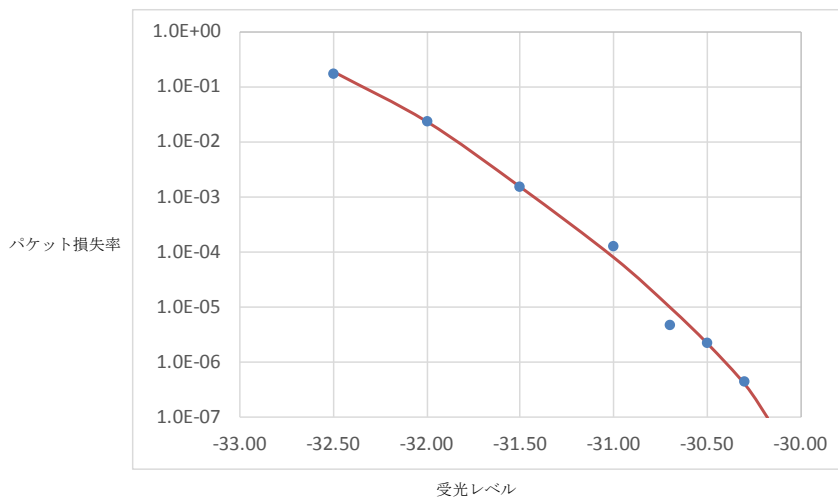


図 4.3-3 80Mbps における受光レベルとパケット損失率の関係

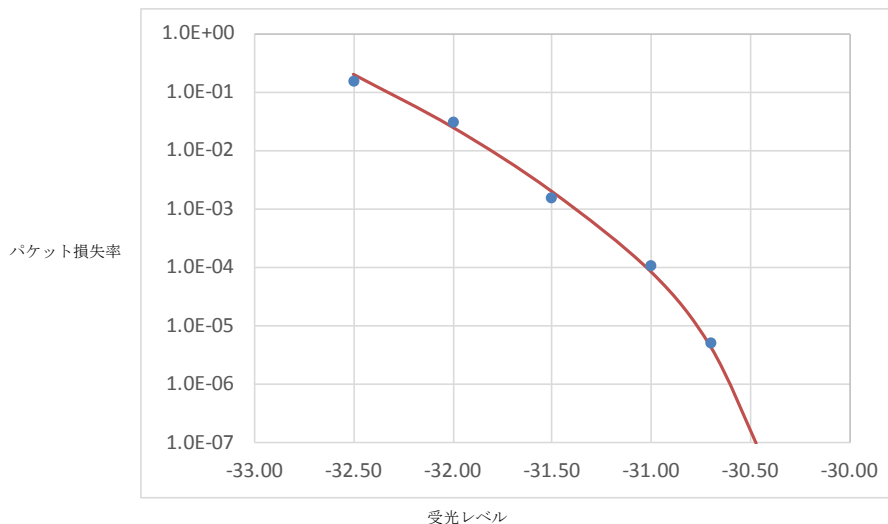


図 4.3-4 12Mbps における受光レベルとパケット損失率の関係

しかしながら、この相関関係は、実証試験の実施環境からは、アクセス網についての結果であり、中継網を有していない地域 IP 伝送型ケーブルテレビについては適用の可能性があるが、中継網を有する広域 IP 伝送型ケーブルテレビについては、コア網及び中継網におけるパケット損失等が考慮されていないから、そのまま適用することはできない。また、アクセス網に採用した光アクセス技術の方式等の違いにより相関関係が異なる可能性もあることから、引き続き、検証が必要である。

したがって、受信用光伝送装置の入力端子における受光レベルと、IP 放送送出装置等から送出されたパケットが受信者端子に到達するまでの全区間における損失率との関係が明確になっていないことなど、実証が十分になされたとはいえないから、今後の検討課題とし、受信用光伝送装置の入力端子における技術的条件は定めないこととするのが適当である。

一方、受信用光伝送装置の出力端子については、IP-STB 等の機能を有する機器とルータ等を含む一体の設備を受信設備とみなすことができるから、この場合、当該受信設備の入力端子(図 4.3-1 では、ルータの入力端子)が受信者端子とみなせる。この場合、当該受信者端子と受信用光伝送装置の出力端子との間を適切な LAN ケーブル等で接続し、当該ルータにおいて放送のトラフィックが優先されるようにルーティングされていれば、当該出力端子から当該受信者端子までの信号の劣化は極めて小さく、実質的に両端子の技術的条件は同等とみなすことができるから、当該性能規定点における技術的条件は、受信者端子における技術的条件と同等と考えることができる。したがって、受信用光伝送装置の出力端子における技術的条件は定めないこととする。

4.3.4 保安装置の出力端子

保安装置の出力端子においては、技術的条件は定めないこととする。

(理由)

IP 放送実証試験報告書の実証試験の結果に基づけば、保安装置の出力端子における搬送波(C: Carrier)のレベルと雑音(N: Noise)のレベル比 (CN 比)とパケット損失率の相関関係 $|R|$ は、80Mbps と 12Mbps のデータを伝送した場合、それぞれ、 $|R| \doteq 0.741$ 、 $|R| \doteq 0.744$ とされ、パケットの損失率と保安装置の出力端子における CN 比には、一定の相関関係があることが認められる(80Mbps 場合：図 4.3-5、12Mbps の場合：図 4.3-6)。

しかしながら、実証試験の結果は、地域 IP 伝送型ケーブルテレビについて適用の可能性があるが、コア網におけるパケット損失等が考慮されていないから、保安装置の出力端子の技術的条件としてそのまま適用することはできない。また、採用した変調方式や通信方式等の違いにより相関関係が異なる可能性もあることから、引き続き、検証が必要である。

したがって、実証が十分になされたとはいえないから、今後の検討課題とし、保安装置の出力端子における技術的条件は定めないこととするのが適当である。

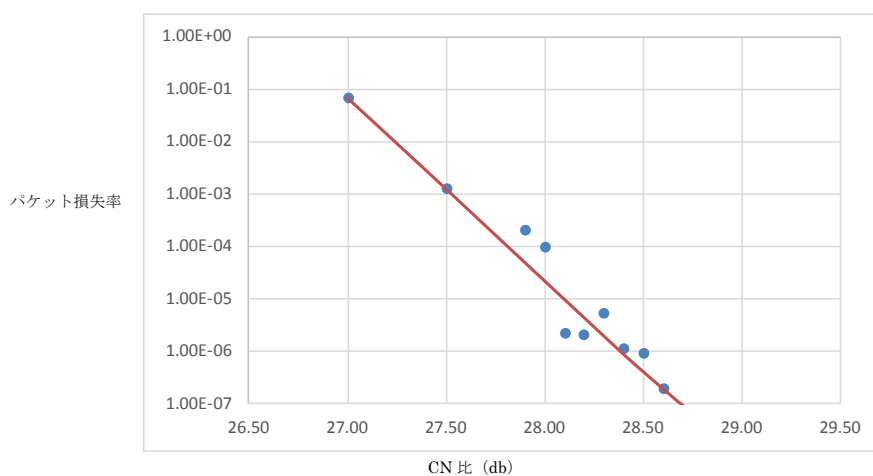


図 4.3-5 80Mbps における CN 比とパケット損失率の関係

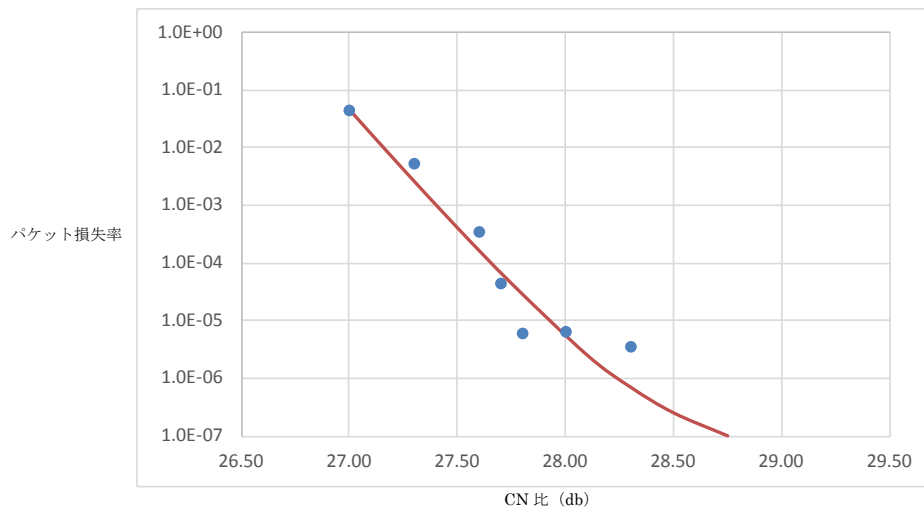


図 4.3-6 12Mbps における CN 比とパケット損失率の関係

4.4 情報源符号化方式等に係る技術的条件

4.4.1 情報源符号化、多重化、誤り訂正、スクランブル、緊急警報信号等についての技術的条件

品質省令第 11 条第 3 項等の規定を準用する。

(理由)

IP 伝送における伝送品質は、品質省令第 2 章第 2 節で規定されたデジタル有線テレビジョン放送方式による有線テレビジョン放送等を行う有線放送設備に係る条件と同等程度の技術的条件を定めることとしているから、情報源符号化、誤り訂正、スクランブル、緊急警報信号等の条件についても同等の条件とすることが適当である。

4.4.2 多重化(IP パケット化に係る部分に限る)についての技術的条件

TS パケット及び TLV パケットを IP パケット化して伝送する。

(理由)

放送に係る MPEG-2 TS(Moving Picture Expert Group-2 Transport System) 方式及び MMT・TLV(MPEG Media Transport・Type Length Value) 方式により生成されたストリームである TS(Transport Stream) パケット及び TLV パケットは、映像、音声等が多重化されたビットストリームであり、IP ネットワークを利用して伝送するためには、IP パケット化をして伝送することが適当である。

TS パケット及び TLV パケットのレイヤモデルを図 4.4-1 及び図 4.4-2 に示す。



図 4.4-1 MPEG-2 TS 方式のレイヤモデル

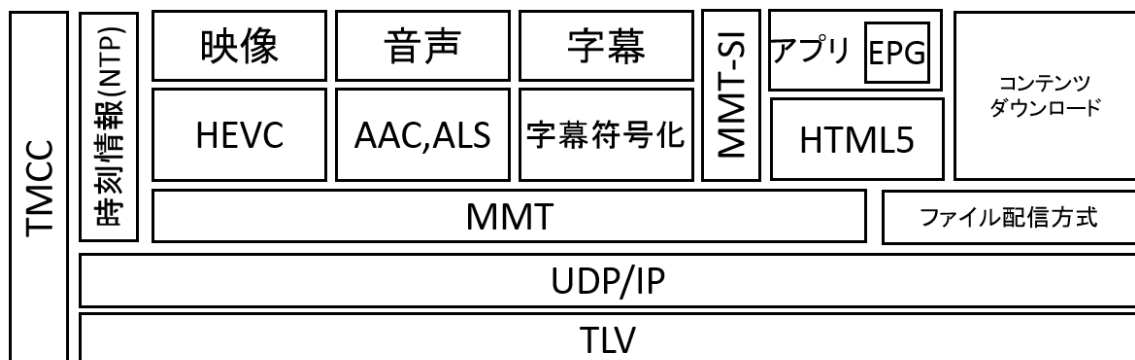


図 4.4-2 MMT・TLV 方式のレイヤモデル

4.4.2.1 タイムスタンプ付 TS

IP パケット化に際し、IP 伝送においては、再放送のための同期等を行うため、タイムスタンプを付与した TS パケット(又は分割 TLV パケット)を利用することがあることから、タイムスタンプ付 TS パケット(以下、「TTS パケット」という)を定義する。

TTS パケットは以下のデータ構造を有する。なお、分割 TLV パケットにタイムスタンプを付した場合も同様の構造とする。

データ構造	Bit	Identifier
<pre> TimeStampedTS() { Do { Timestamp transport_packet() } } </pre>	32	uimsbf

4.4.2.2 RTP (Real-time Transport Protocol)

IP パケット化に関して、トランスポート層のプロトコルとして RTP を利用する場合、原則として、RFC 3550 (RTP: A Transport protocol for Real-Time Applications) に従う。ヘッダ構成及びヘッダフィールドは以下のとおり。

V	P	X	CC	M	PT	Sequence Number(シーケンス番号)
timestamp(タイムスタンプ)						
Synchronization Source(SSRC) Identifier						
Contribution Source(CSRC) Identifier: CCで指定された0～15個(各32ビット)						
データペイロード						

注： V: version(2bits) P: padding(1bit) X: extension(1bit)
CC: CSRC count(4bits) M: marker(1bit) PT: Payload Type(7bit)

図 4.4-3 RTP のヘッダ構成及びヘッダフィールド

4.4.2.3 UDP (User Datagram Protocol)

IP パケット化に関して、トランスポート層のプロトコルとして UDP を利用する場合、原則として、RFC 768 (User Datagram Protocol) に従う。ヘッダ構成及びヘッダフィールドは以下のとおり。

Source Port(送信元ポート)										Destination Port(宛先ポート)									
Length(データ長)										Checksum(チェックサム)									
データペイロード																			

図 4.4-4 UDP のヘッダ構成及びヘッダフィールド

4.4.2.4 IP パケット化された TTS パケット

RTP/UDP プロトコルを利用した場合の、TTS パケットの IP パケット化は、IP パケットのサイズをルータ等が 1 回の転送で伝送可能な MTU (Maximum Transmission Unit) (1,500 バイトが標準) のサイズ以下にする観点から、TTS パケットのサイズが 192 バイトであることを踏まえ、一つの IP パケットには、IP ヘッダ (20 バイト)、UDP ヘッダ (8 バイト)、RTP ヘッダ (12 バイト) 及び 7 個の TTS パケットを格納し、合計 1,384 バイトとすることが標準的である。

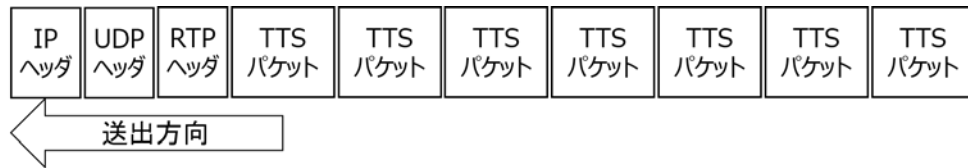


図 4.4-5 IP パケット化された TTS パケット

4.5 サービス可用性に関する技術的条件

サービス可用性(技術基準で規定された値を算出できる確率の設定等)についての技術的条件は定めないこととする。

(理由)

IP 伝送型ケーブルテレビの導入に際して、ケーブルテレビ事業者等に対して、IP 伝送に係るサービス可用性に関して、技術基準の適合性に関する測定を行わせ、その結果を報告させることの妥当性を検討した。

放送法第 139 条に基づき、総務大臣は、ケーブルテレビ事業者等に対し、有線一般放送の業務に用いられる電気通信設備の安全・信頼性の確保及び当該電気通信設備を用いて行われる有線一般放送の品質適正性の確保を目的として設けられた規定の施行に必要な限度において、報告を求めることができる。その職員に、当該電気通信設備を設置する場所に立ち入り、当該電気通信設備を検査させることができる。

ケーブルテレビ事業者等は、本条及び放送法施行規則第 159 条に基づき、毎年、登録に係る有線一般放送の業務に用いられる電気通信設備の状況等を総務大臣に報告している。また、重大事故が発生した場合にも放送法第 137 条に基づく報告等が義務付けられている。

既存の制度の下で、技術基準への適合性に関する報告義務や総務省の職員による立入検査の権限があることも踏まえれば、IP 伝送型ケーブルテレビを導入したケーブルテレビ事業者等のみに対して、現状の年次報告に加え、追加的に義務を課すことは、有線一般放送の安全・信頼性及び品質適正性の確保等の観点からは、これまでの有線一般放送の業務の実施状況を踏まえれば、必ずしも必要とは考えられない。

したがって、サービス可用性(技術基準で規定された値を算出できる確率の設定等)についての技術的条件は定めないこととすることが適当である。

しかしながら、通信のトラヒックの変動の影響が受信者による放送の受信に影響を与えない水準を維持するため、ケーブルテレビ事業者等において、適切なネットワークの運用を行う観点から、必要な範囲で技術的条件等を測定することも考えられる。

なお、災害時や特定の利用者等を原因とする通信トラヒックの急激かつ予

測不可能な変動が生じることがある。特に災害時については、国民生活への影響が大きいため、災害時においても必要最低限の災害情報等を受信者に提供できるようにする観点から、可能な場合には、あらかじめ放送事業者等と協議した上で、衛星基幹放送の降雨減衰対策等を参考に、低画質映像を放送することにより、伝送するトラヒックを制限するような運用を検討しておくことも考えられる。

4.6 測定方法に関する基本的な考え方

- (1) IP 放送送出装置等において、測定の対象となるパケットにシーケンス番号及び時刻を付与し、受信者端子において、当該シーケンス番号又は時刻を取得し、損失率、遅延、ジッタを測定する。
- (2) 測定値の算出については、ITU-T 勧告 Y.1540 (Internet Protocol data communication service - IP packet transfer and availability performance parameters) 等の国際標準を踏まえた算出方法とする。
- (3) ネットワークを敷設等する際における有線一般放送に用いる電気通信設備の技術基準への適合性の確認に際しては、実用サービスと同等程度の試験環境を構築して計測を行う。
- (4) 個々の受信者端子の技術基準への適合性の確認に際しては、原則として、実用サービスが提供されている受信設備における受信者端子において測定を行う。
- (5) 具体的な測定方法については、IP 放送サービスの提供状況や市場における測定機器の状況などを踏まえて、民間標準化団体等において、引き続き、通信のトラヒックの変動、放送の伝送容量等を考慮して測定時間、区間等を含め測定方法の詳細化等の検討を行い、適切な方法を定める。

5. デジタル有線テレビジョン放送方式による有線テレビジョン放送等を行う有線放送設備に係る技術的条件

デジタル有線テレビジョン放送方式による有線テレビジョン放送等を行う有線放送設備に係る技術的条件のうち、搬送波の変調の型式が 64 値直交振幅変調（以下、「64QAM 変調」という）及び 256 値直交振幅変調（以下、「256QAM 変調」という）の場合における搬送波等の条件に関する技術的条件を検討した。なお、検討の結果、搬送波の変調の型式が 64QAM 変調の場合における搬送波等の条件に関する技術的条件については、見直しの必要性がないとした。

5.1 搬送波の変調の型式が 256QAM 変調の場合における搬送波等の条件

搬送波の変調の型式が 256QAM 変調の場合における搬送波等の条件のうち、搬送波のレベル及び搬送波のレベルと雑音のレベルの比は、総務省情報通信審議会の平成 19 年 3 月 28 日の一部答申（「ケーブルテレビシステムの技術的条件」のうち「FTTH 等の伝送帯域の拡大に伴う BS-IF 等パススルー伝送並びに情報源符号化方式及び伝送路符号化方式の高度化に関する技術的条件」（諮問第 2024 号））に基づき、有線一般放送の品質に関する技術基準を定める省令（平成 23 年総務省令第 95 号）（以下、「品質省令」という）の第 12 条において表 5.1-1 のとおり規定されている。

表 5.1-1 搬送波等の条件（256QAM 変調）

区 別	条 件
搬送波のレベル	$57 + 10 \log_{10}(Z/75)$ 以上 $81 + 10 \log_{10}(Z/75)$ 以下 ※Z は、出力端子の定格出力インピーダンス（単位オーム）
搬送波のレベルと雑音のレベルの比	34 デシベル以上

搬送波の変調の型式が 256QAM 変調の場合における搬送波等の条件のうち、搬送波のレベルと雑音のレベルの比は、保安装置の出力端子又は受信用光伝送装置の出力端子及び受信用光伝送装置の入力端子において、品質省令の第 12 条において、それぞれ表 5.1-2 及び表 5.1-3 のとおり規定されている。

表 5.1-2 保安装置又は受信用光伝送装置の出力端子における搬送波等の条件 (256QAM 変調)

区 別	条 件
搬送波のレベルと雑音のレベルの比	36 デシベル以上 (保安装置又は受信用光伝送装置の出力端子から受信者端子までの搬送波のレベルと雑音のレベルの比が 39 デシベル以上である場合)

表 5.1-3 受信用光伝送装置の入力端子における搬送波等の条件 (256QAM 変調)

区 別	条 件
搬送波のレベルと雑音のレベルの比	37 デシベル以上 (受信用光伝送装置の入力端子から受信者端子までの搬送波のレベルと雑音のレベルの比が 39 デシベル以上である場合)

5.1.1 搬送波のレベルと雑音のレベルとの比の技術的条件

搬送波のレベルと雑音のレベルとの比 (CN 比) は、32dB 以上とする。

(理由)

搬送波の変調の型式が 256QAM 変調の場合における必要な CN 比を求めるため、現在市場で入手可能な STB を用いて、256QAM 信号にガウスノイズを重畳して CN 比を変化させたときに対するビット誤り率 (BER: Bit Error Rate) を測定した。

このときの、測定条件は以下のとおり。

- ・ 搬送波周波数 (U14 : 479MHz、U61 : 761MHz)
- ・ 搬送波レベル (55dB μ B、66dB μ B)

なお、試験系統図は図 5.2-1 のとおり。

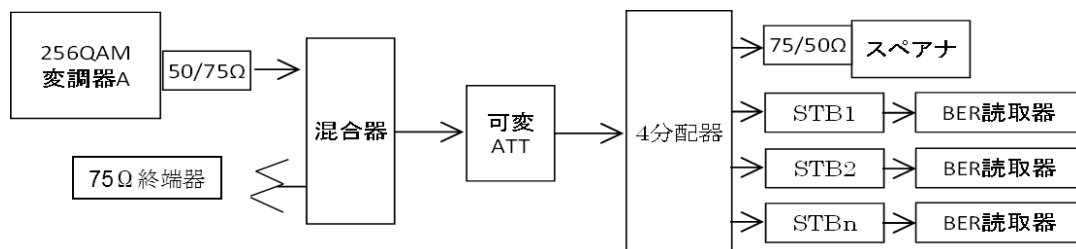


図 5.1-4 256QAM 信号の CN 比と BER 測定の試験系統図

複数の STB について測定を行い、図 5.1-5 から図 5.1-8 のような結果が得られた。

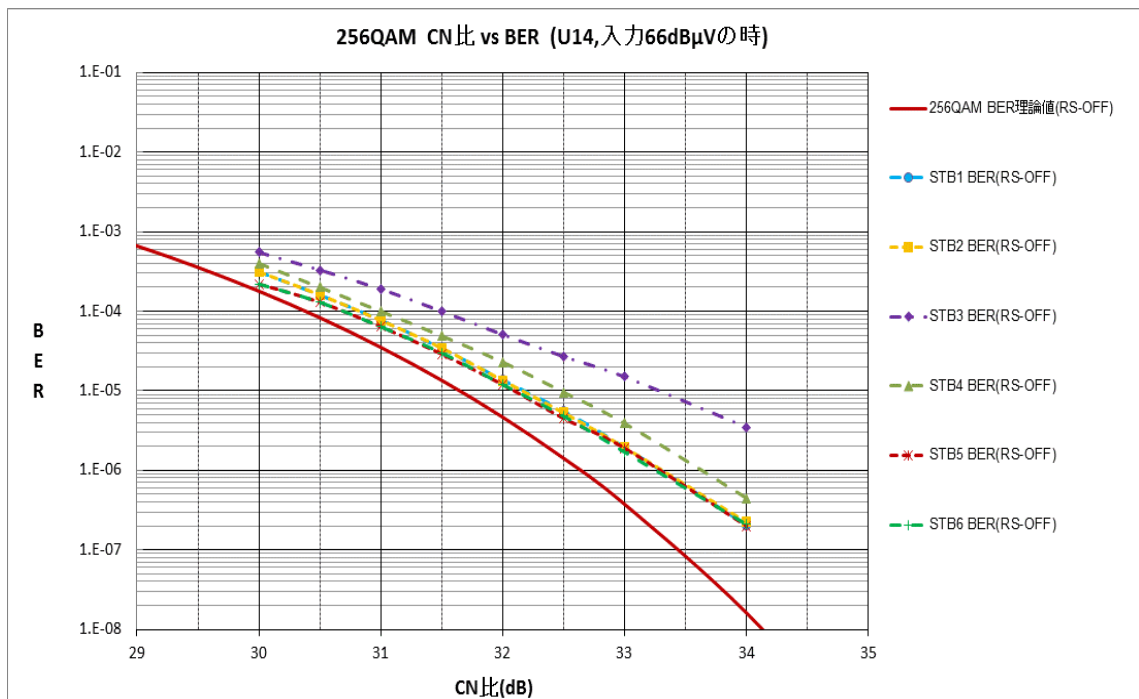


図 5.1-5 CN 比対 BER 特性 (U14、66dB μ V)

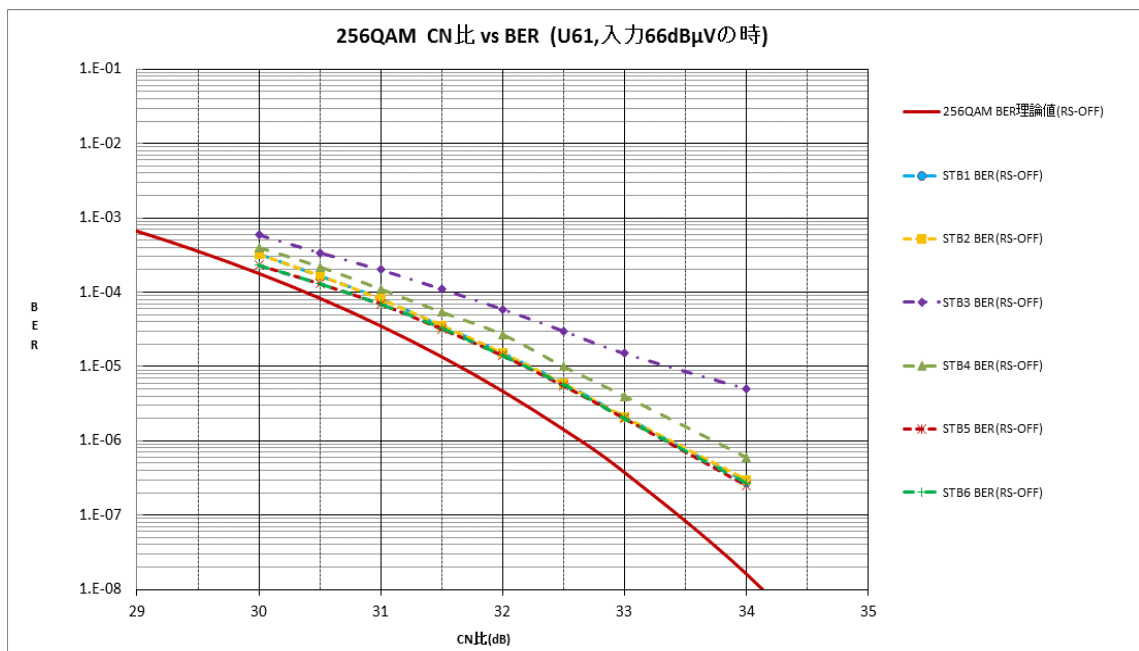


図 5.1-6 CN 比対 BER 特性 (U61、66dB μ V)

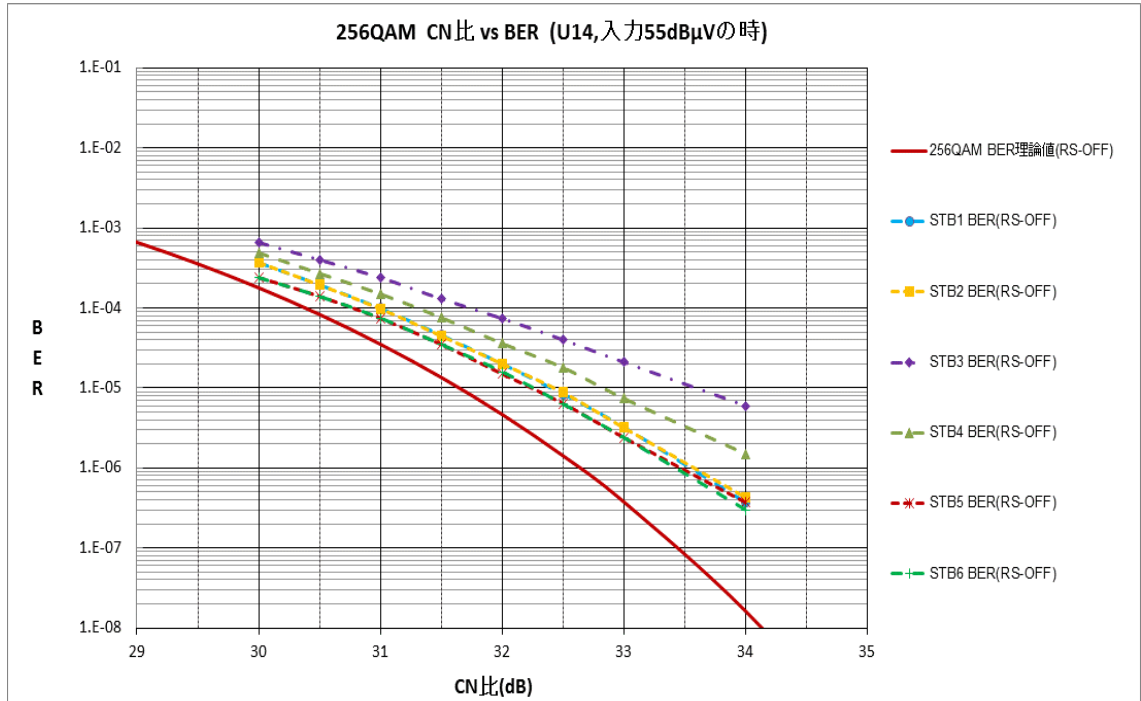


図 5.1-7 CN 比対 BER 特性 (U14、55dB μ V)

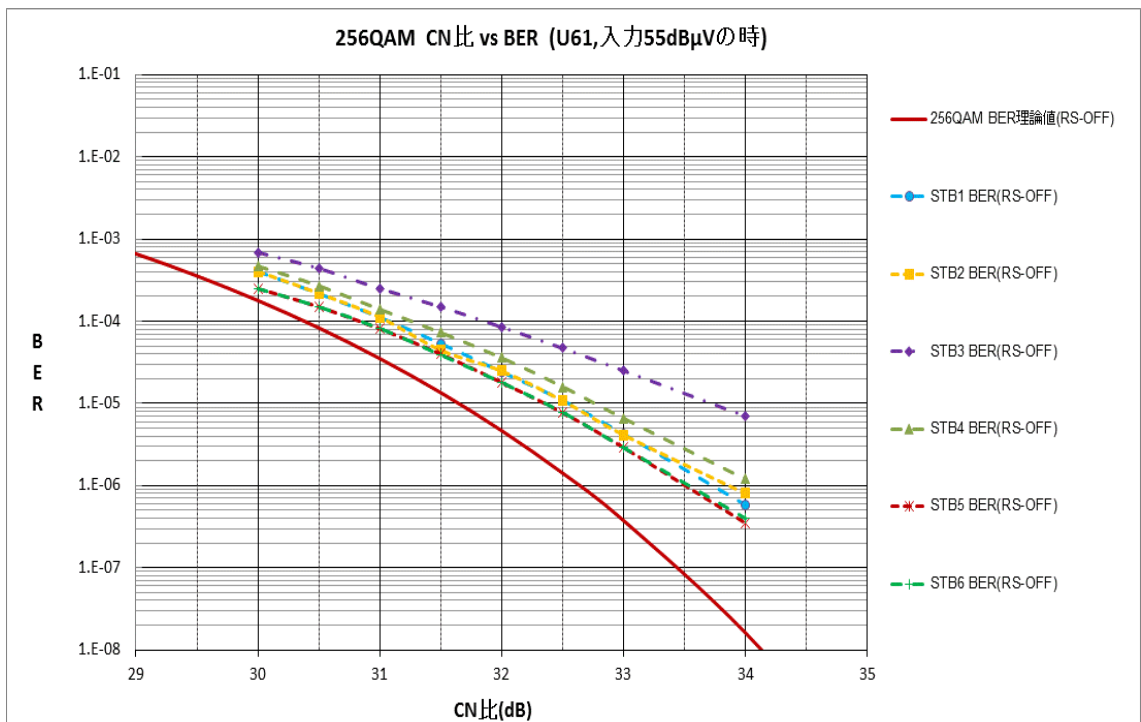


図 5.1-8 CN 比対 BER 特性 (U61、55dB μ V)

品質省令の入力信号の条件である誤り訂正前の BER が 1×10^{-4} となるのに必要な CN 比の条件は、表 5.1-4 のとおりとなる。したがって、必要な CN 比は、測定結果のうち、最悪値である 31.8dB 以上とする。

表 5.1-4 BER が 1×10^{-4} となる CN 比 (dB)

	66dB μ V (U14/U61)	55dB μ V (U14/U61)
STB1	30.8 / 30.8	31.0 / 31.1
STB2	30.8 / 30.8	31.0 / 31.1
STB3	31.5 / 31.6	31.8 / 31.8
STB4	31.0 / 31.0	31.3 / 31.3
STB5	30.7 / 30.7	30.7 / 30.8
STB6	30.7 / 30.7	30.7 / 30.8

ただし、STB には製品による個体差があるため、これを考慮する必要がある。標準的な性能を有する STB と正常の範囲内ではあるが最も性能が低い STB との性能の差である 0.54dB を考慮すると、必要な CN 比は、32.34dB となる。

したがって、32.34dB を切り上げて 33dB とすることが適当である。

なお、今回の試験測定に使用した全ての STB は、内部構成として入力信号の分配回路等を有する STB (図 5.1-9) であるが、現在、品質省令の規定は、STB の内部構成が最も基本的なもの (以下「基本 STB」という) (図 5.1-10) に基づき、技術基準が定められている。したがって、必要な CN 比については、内部構成の違いを考慮して修正する必要がある。

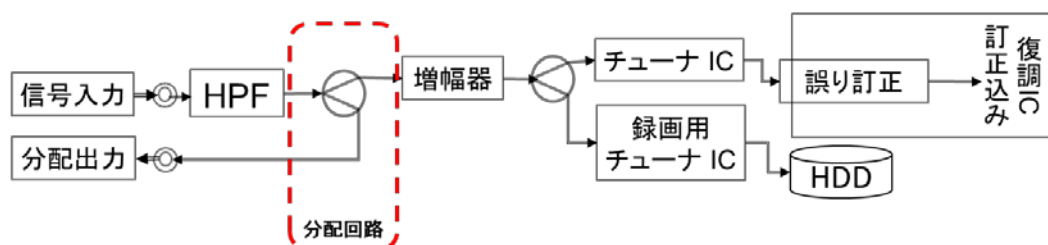


図 5.1-9 入力信号の分配回路を有した STB の内部構成図

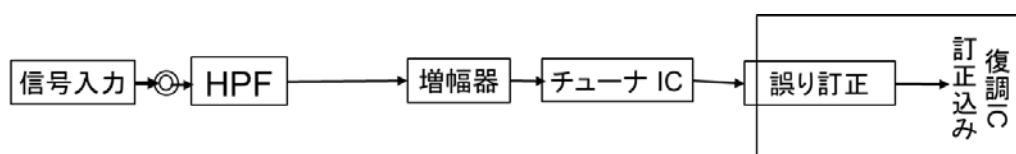


図 5.1-10 基本 STB の内部構成図

基本 STB に必要な CN 比は、入力信号の分配回路を有する場合に比べ 0.19dB 良くなるため、入力信号の分配回路を有する STB の CN 比である 31.8dB は、31.61dB に相当する。また、基本 STB の性能の個体差は入力信号の分配回路を有する STB の性能の個体差である 0.54dB に比べ、0.16dB と小さくなっており、基本 STB の性能の個体差を考慮した場合に必要な CN 比は 31.77dB となる。

したがって、搬送波の変調の型式が 256QAM 変調の場合における必要な CN 比の条件は、31.77dB を切り上げて 32dB とすることが適当である。

5.1.2 搬送波のレベルの技術的条件

搬送波のレベルは、出力端子の定格出力インピーダンスが 75 オームの場合において、55dB μ V 以上 81dB μ V 以下とする。

(理由)

搬送波のレベルの下限について、雑音レベルについては、従来どおり、標準テレビジョン放送の下限値 60dB μ V、標準テレビジョン放送の所要 CN 比(38dB)及び帯域幅による雑音のレベル換算 1dB より、23dB μ V となる。今般の 256QAM 変調における CN 比の見直しにより、必要な CN 比が 32dB となったことから、下限レベルは 55dB μ V となる。したがって、搬送波のレベルは、55dB μ V 以上 81dB μ V 以下とすることが適当である。

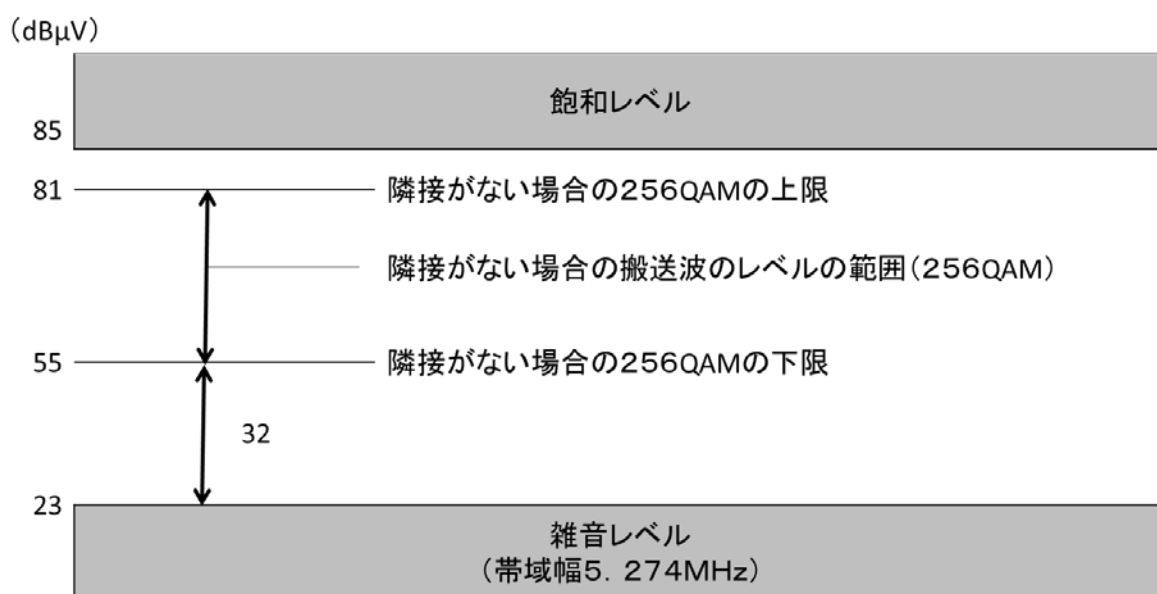


図 5.1-11 搬送波のレベル (256QAM)

5.1.3 受信用光伝送装置等の入出力端子における搬送波のレベルと雑音のレベルの比

5.1.3.1 保安装置又は受信用光伝送装置の出力端子における搬送波のレベルと雑音のレベルとの比の技術的条件

保安装置又は受信用光伝送装置の出力端子から受信者端子までの搬送波のレベルと雑音のレベルとの比 (CN 比) が 39dB 以上の場合にあっては、当該出力端子における CN 比は 33dB 以上とする。

(理由)

搬送波の変調の型式が 256QAM 変調の場合における保安装置又は受信用光伝送装置の出力端子に必要な CN 比は、現在の棟内伝送路の CN 比の基準である 39dB 及び今般見直す受信者端子に必要な CN 比 32dB より逆算すると 32.97dB となる。したがって、当該出力端子において搬送波の変調の型式が 256QAM 変調の場合における必要な CN 比は切り上げて 33dB とすることが適当である。

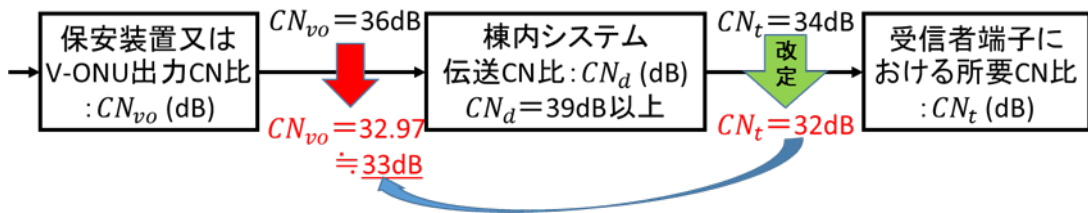


図 5.1-12 保安装置又は受信用光伝送装置の出力端子の CN 比

5.1.3.2 受信用光伝送装置の入力端子における搬送波のレベルと雑音のレベルとの比の技術的条件

受信用光伝送装置の出力端子から受信者端子までの搬送波のレベルと雑音のレベルとの比 (CN 比) が 39dB 以上の場合にあつては、受信用光伝送装置の入力端子における CN 比は 34dB 以上とする。

(理由)

5.1.3.1 より、搬送波の変調の型式が 256QAM 変調の場合における保安装置又は受信用光伝送装置の出力端子に必要な CN 比は 32.97dB、これを CN 比 38dB の FTTH 伝送路で HE へさかのぼると 34.6dB となる。34.6dB に信号偏差 2dB を加えた 40dB の FTTH 伝送路で受信用光伝送装置へ下ると 33.5dB となる。したがって、受信用光伝送装置の入力端子に必要な推定 CN 比は切り上げて 34dB とすることが適当である。

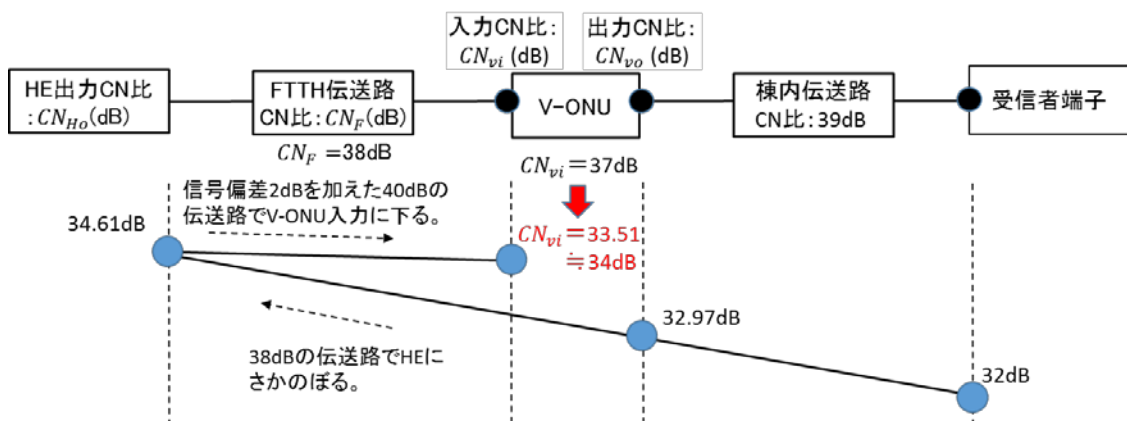


図 5.1-13 受信用光伝送装置の入力端子の CN 比

注：推定 CN 比は以下の式 5.1 から求める。

$$C/N = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{B_N} \cdot \frac{\frac{1}{2} \cdot (m_k \cdot R \cdot P_s)^2}{\sum_{n=1}^{N_T} \{RIN_n \cdot (R \cdot P_n)^2 + 2 \cdot e \cdot R \cdot P_n\} + 2 \cdot e \cdot I_{d0} + I_{eq}^2} \right] \quad [\text{dB}] \quad (\text{式 5.1})$$

ここで

B_N : 雑音帯域幅 (デジタル有線テレビジョン放送信号 256QAM 方式 : 5.30×10^6 [Hz])

m_k : 当該搬送波の光変調度

R : 受光素子の光から電気への変換効率 [A/W]

N_T : 同時に伝送している光信号の波数

P_s : 当該搬送波で変調している光信号の受光電力 [W]

P_n : n 番目の光信号の受光電力 [W]

RIN_n : n 番目の入力光信号の相対強度雑音 (RIN: Relative Intensity Noise) [1/Hz]

e : 電気素量 (1.602×10^{-19} [C])

I_{d0} : 受光素子の暗電流 [A]

I_{eq} : 受光部の入力換算雑音 [A/ $\sqrt{\text{Hz}}$]

また、1 つの光信号に対する全光変調度 M 、 k 番目搬送波の光変調度 m_k 、および伝送搬送波数 K は式 5.2 の関係にある。

$$M = \sqrt{\sum_{k=1}^K m_k^2} \quad (\text{式 5.2})$$

式 5.1 において、1 波長のみを使用する場合は $P_s = P_1$ 及び $N_T = 1$ として算出する。

5.2 搬送波の変調の型式が 64QAM 変調の場合における搬送波等の条件

搬送波の変調の型式が 64QAM 変調の場合における搬送波等の条件のうち、搬送波のレベルと雑音のレベルの比は、品質省令第 12 条において表 5.2-1 のとおり規定されている。

表 5.2-1 搬送波等の条件（64QAM 変調）

区 別	条 件
搬送波のレベルと雑音のレベルの比	26 デシベル以上

5.2.1 搬送波のレベルと雑音のレベルとの比の技術的条件

搬送波のレベルと雑音のレベルとの比（CN 比）は、現行の 26dB 以上の規定を維持することとする。

（理由）

搬送波の変調の型式が 64QAM 変調の場合における必要な CN 比を求めるため、5.1 で行った測定と同様の測定を 64QAM 変調された信号について行くと、入力信号の分配回路を有する STB の CN 比は 25.27dB となり、STB の性能の個体差の 0.54dB を考慮すると、必要な CN 比は、25.81dB となる。

したがって、25.81dB を切り上げて 26dB となる。

次に、64QAM 変調における基本 STB に必要な CN 比は、入力信号の分配回路を有する場合に比べ 0.19dB 良くなるため、入力信号の分配回路を有する STB の CN 比である 25.27dB は、25.08dB に相当する。また、基本 STB の性能の個体差は 0.16dB となるため、基本 STB の性能の個体差を考慮した場合に必要な CN 比は 25.24dB となる。

したがって、搬送波の変調の型式が 64QAM 変調の場合における必要な CN 比の条件は、25.24dB を切り上げて 26dB となるから、現行の規定を維持することが適当である。

6. 今後の検討課題

6.1 IP 放送に関する課題

(1) 受信者端子における測定方法の検討

IP 伝送型ケーブルテレビのサービス提供に当たって必要な、受信者端子における技術基準への適合性を確認するための方法等については、IP 放送サービスの提供状況や市場における測定機器の状況などを踏まえて、民間標準化団体等において、引き続き、通信のトラヒックの変動、放送の伝送容量等を考慮して測定時間、区間等を含め測定方法の詳細化等の検討を行い、必要に応じ技術基準に反映するため、今後の検討課題とすることが適当である。

(2) 受信者端子以外の性能規定点における技術的条件

受信者端子以外の性能規定点において、民間標準化団体等において実証試験等を継続し、戸建て、集合住宅等を含む受信者宅内等における IP ネットワークの状況を踏まえ、パケットに係る技術的条件と FTTH における受信用光伝送装置の入力端子の受光レベルや出力端子の CN 比、HFC における保安装置の出力端子の CN 比等の相関性等の検討を行い、必要に応じ技術基準に反映するため、今後の検討課題とすることが適当である。

(3) 必要な帯域の算出や伝送帯域の評価等にあたっての統計的な考え方の検討

必要な帯域の算出や伝送帯域の評価方法等の検討にあたって、可変ビットレートの符号化を用いた複数番組の統計多重による提供や放送と通信のトラヒックのネットワーク利用率を用いることなど、必要な帯域や利用できる伝送帯域が動的に変化することを踏まえ、統計的な考え方を考慮することについては、現状においては、IP ネットワークの状況や統計的な考え方を具体化した帯域の算出方法等が十分に整理されていないことから、今後の検討課題とすることが適当である。

(4) IP 技術の進展に応じた技術的条件等の見直し

IP 技術の技術革新の進展が急速であることを踏まえ、受信者のニーズやケーブルテレビ事業者等の設備の更新等の時期をとらえ、既存又は新規の技術を検討し、IP 放送として実現性の高い伝送方式やより効率的な IP ネットワーク利用技術の導入に向け、IP マルチキャスト方式以外の IP 伝送を含め、導入に必要な技術や方式を検討し、適時に技術的条件の見直しを行うことが適当である。

6.2 国際標準化、技術開発に関する課題

(1) IP 放送に関する国際標準化に向けた取組

IP 放送については、既に多くの成果が ITU 等の国際標準に盛り込まれているが、本報告の検討結果を踏まえ、特に IP 放送に係る設備のグローバルな調達や展開が可能となるよう、引き続き、必要な検討を加えたうえで、ITU 等に働きかけ、勧告の改訂等を行っていくことが必要である。

(2) 地域 BWA、23GHz 帯無線伝送システム等の無線システムを利用した IP 放送

に係る検討

ケーブルテレビのサービスは、近年、有線のみならず、無線システムも活用して行われるようになってきている。したがって、ケーブルテレビのネットワークの一部として利用される無線システムについては、既存の RF 方式による放送に加え、IP 方式による放送にも柔軟に対応できるよう技術基準の見直しが必要なことから、継続的に技術的な検討を行い、適時に技術的条件の見直しを行っていくことが必要である。

6.3 有線一般放送の技術的条件全般に関する課題

サービス可用性に関する技術的条件については、既存の制度の下で、ケーブルテレビ事業者等に対し、安全・信頼性の確保、有線一般放送の品質適正性の確保等を目的とした技術基準への適合性等に関する報告義務や総務省の職員による立入検査の権限があることを踏まえ、これまでの有線一般放送の業務の実施状況も踏まえれば、必ずしも必要とは考えられないと結論付けた。

しかしながら、ネットワークの高度化、広帯域化に伴い、ケーブルテレビのサービスは多様化が進んでおり、IP 放送のような放送と通信のネットワークの共用化のみならず、有線と無線の様々なシステム間においても、相互の関係が複雑化している状況を鑑み、毎年の報告内容の見直しや技術的条件の見直し等、必要な技術的、制度的措置を講じていくことが必要である。

参考資料

- 参考資料 1 「IP 放送伝送品質実証実験報告書」((一社)日本ケーブルラボ、2018 年 7 月)
- 参考資料 2 「デジタル有線テレビジョン放送用受信装置における 256QAM 方式信号の CN 比試験報告書」((一社)日本 CATV 技術協会、2016 年 10 月)
- 参考資料 3 「規格書 STD-007-6.2 256QAM CN 比検討 (STB 入力信号分配回路の有無による所要 CN 比の検討)」((一社)日本 CATV 技術協会、2018 年 6 月)
- 参考資料 4 「4K・8K 時代に向けたケーブルテレビの映像配信の在り方等に関する研究会報告書」(2018 年 6 月)
- 参考資料 5 ITU-T 勧告 J.241(Quality of service ranking and measurement method for digital video services delivered over broadband IP networks)(ITU、2005 年 4 月)
- 参考資料 6 ITU-T 勧告 Y.1540(Internet protocol data communication service - IP packet transfer and availability performance parameters)(ITU、2011 年 12 月)(省略)
- 参考資料 7 ITU-T 勧告 Y.1541(Network performance objectives for IP-based services)(ITU、2016 年 6 月)(省略)
- 参考資料 8 RFC 5771(IANA Guidelines for IPv4 Multicast Address Assignments)(IETF、2010 年 3 月)
- 参考資料 9 RFC 4291(IP Version 6 Addressing Architecture)(IETF、2006 年 2 月)
- 参考資料 10 「デジタル放送における映像符号化、音声符号化及び多重化方式標準規格」(ARIB STD-B32 3.10 版)(抜粋)((一社)電波産業会、2018 年 4 月)
- 参考資料 11 「IPTV 規定 地上デジタルテレビジョン放送 IP 再送信運用規定(IPTVFJ STD-0005 1.4 版)」第零編、第 6 編、第 7 編(抜粋)((一社)IPTV フォーラム、2017 年 7 月)

IP 放送伝送品質実証実験報告書

2018 年 7 月 24 日

日本ケーブルラボ

Japan Cable Laboratories

目次

1	本書について	5
2	実験実施の背景と前提	6
2.1	省令としての技術基準	6
3	メンバー構成	7
4	実証実験の前提	7
4.1	IP 放送の定義	7
4.2	RF 方式との関係	8
4.3	省令の適応範囲	9
4.3.1	入力信号と伝送路についての考え方	9
4.3.2	棟内環境についての考え方	10
4.3.3	宅内環境についての考え方	10
4.4	研究会での技術品質基準の考え方	10
4.5	参照すべき品質や測定に関する文書	10
4.5.1	ITU-T 勧告 J.241	10
4.5.2	ITU-T 勧告 Y.1541	12
4.5.3	IPTV 規定 STD-0004、0005、0009	12
4.6	各要素の定義	12
4.6.1	パケット損失 (IP Packet Loss)	12
4.6.2	遅延 (Latency)	13
4.6.3	揺らぎ (Jitter)	13
4.6.4	遅延と揺らぎの測定基準	13
5	実験の目的と机上検討	14
5.1	実験の目的と呼称	14
5.2	物理層品質と IP 層の関係性	14
5.3	物理層品質とトランスポート層の関係性	15
5.4	IP 層品質と映像品質の関係性	16
6	実証実験要件	17
7	実験環境	18
7.1	物理層実験環境	18
7.2	IP 層実験環境	19
7.3	優先制御	19
7.3.1	FTTH における優先制御	19
7.3.2	HFC における優先制御	20
7.4	実験データと計測時間	22

7.4.1	実験データ	22
7.4.2	BER 計測時間	22
7.4.3	PLR 計測時間	23
7.4.4	データ量の想定	24
7.4.5	前方誤り訂正(FEC)について	24
8	実施結果	25
8.1	FTTH の物理層実験結果と見解	25
8.1.1	優先制御の確認	25
8.1.2	机上検討と実験結果の違い	25
8.1.3	受光パワーの計測と結果	25
8.2	FTTH の IP 層実験結果と見解	29
8.2.1	パケット損失の計測と結果	29
8.2.2	パケット遅延と揺らぎの計測と結果	31
8.3	HFC の物理層実験結果と見解	32
8.3.1	QoS の確認	32
8.3.2	机上検討と実験結果の違い	32
8.3.3	CN の計測と結果	32
8.4	HFC の IP 層実験結果と見解	36
8.4.1	パケット損失の計測と結果	36
8.4.2	パケット遅延と揺らぎの計測と結果	37
8.5	アクセス網における優先制御の考え方	37
8.6	パケット遅延と揺らぎが映像に与える影響	38
8.7	パケットの揺らぎと STB のバッファ量	43
8.7.1	想定するパケット揺らぎのパターン	43
8.7.2	IP 放送対応受信機の構成	44
8.7.3	パケットの揺らぎと受信機のバッファ使用量の関係	45
8.8	パケット損失率が映像に与える影響	47
8.8.1	パケット損失率と主観画質について	47
8.8.2	パケット損失が映像に与える影響	48
8.9	パケット損失と FEC	49
8.9.1	Pro-MPEG FEC COP3	49
8.9.2	Pro-MPEG 1D FEC	49
8.9.3	Pro-MPEG 2D FEC	51
8.10	測定方法についての考察	52
8.10.1	実験環境における測定	52
8.10.2	フィールドでの測定	52

8.11	宅内環境についての考察	59
8.11.1	ホームゲートウェイ	59
8.11.2	無線 LAN.....	60
9	エキスパートグループからの提言	63
9.1	IP 放送に関する技術的条件とする値について	63
9.1.1	IP パケットの損失率	63
9.1.2	IP パケットの遅延	63
9.1.3	IP パケットの揺らぎ	63
9.2	IP 放送に関する技術的条件に係る測定方法について	63
9.2.1	IP パケットの損失率の測定	63
9.2.2	IP パケットの遅延測定	63
9.2.3	IP パケットの揺らぎ測定	64
9.2.4	測定点について	64
10	今後の課題	65
10.1.1	MMT・TLV に関する課題	65
10.1.2	測定に関する課題	65
10.1.3	宅内環境についての課題	65
Appendix.....		66
1	参考資料（実験データ）	66
2	実験手順	66
2.1	物理層実験	66
2.1.1	期待される実験結果	66
2.1.2	実験手順	66
2.2	IP 層実験手順	72
2.2.1	期待される実験結果	72
2.2.2	実験手順	72
3	実験結果データ	78

1 本書について

本書は IP 放送サービスを提供するにあたり、どのような技術的条件を満たせば安定的にサービス提供が可能かを検証する目的の実験報告書であり、先に開かれた総務省での「4K・8K 時代に向けたケーブルテレビの映像配信の在り方に関する研究会」（以下研究会）及び情報通信審議会 情報通信技術分科会 放送システム委員会での「IP 放送作業班」（以下作業班）の議論を踏まえたうえで、仮説を提示し実証実験を行った結果をまとめたものである。

2 実験実施の背景と前提

2.1 省令としての技術基準

総務省が現在定めているケーブルテレビの一般放送の品質に関する技術基準には RF 方式に係る技術基準として有線一般放送の品質に関する技術基準を定める省令（以下品質省令）等があるものの、IP 放送については未策定であり品質省令には特定方式の技術基準として規定されていない。現在 IP 放送サービスを提供している事業者は、IPTV フォーラムの規格や日本ケーブルラボの運用仕様等に基づき、事業者毎に品質基準を設けている。総務省は、事業者からの申請に対して、品質省令の通則等に基づき、個別に審査を行っている状況である。IP 放送事業に新規参入する後発事業者が登録を受けるための技術基準について明確な指針がない状態であり、技術基準が明確に定められていない点が参入を妨げているとみることもできる。新たに技術基準を設けるにあたって、どのような技術的条件が望ましいのか、どのような測定方法が適当なのかを検討する必要があり、合理的な技術的条件を採用することが求められる。特に研究会や作業班では「現状のサービスに大きな影響がないこと」つまり既存サービス事業者の立場の意見と「事業者にとって大きなコスト負担や運用負担にならないこと」など今後参入を予定している事業者の意見がある。技術的条件を定めるにあたってはこれらの意見を集約しつつ、合理的で且つケーブルテレビの放送品質を担保しうる技術的条件等として何が適切なのか、仮説を基にこれを実験によって明らかにする必要がある。

3 メンバー構成

(一社) 日本ケーブルラボでは検討にあたりエキスパートグループ (以下 EG) を設置した。EG メンバーは (一社) 日本ケーブルラボ会員の中から IP 放送に係る知識を有する者と今後運用に関わる可能性がある者から構成した。参加メンバーは以下のとおりである。

1	NTT エレクトロニクス (株)	篠原 稔
2	NTT エレクトロニクス (株)	横川 豊和
3	SCSK (株)	久保 智
4	沖電気工業 (株)	上田 剛弘
5	KDDI (株)	河村 圭
6	(株)KDDI 総合研究所	佐々木 力
7	ケーブルテレビ徳島 (株)	佐々木 治之
8	ケーブルテレビ徳島 (株)	岩佐 達矢
9	(株) ケーブルネット鈴鹿	井ノ上 健太
10	(株) コミュニティネットワークセンター	小宮山 宏
11	シスコシステムズ合同会社	川島 誠一
12	ジャパンケーブルキャスト (株)	寺島 広道
13	ジャパンケーブルキャスト (株)	山瀬 直人
14	(株) ジュピターテレコム	上園 一知
15	住友電気工業 (株)	近藤 利徳
16	テクニカラーパイオニアジャパン (株)	渡辺 聡司
17	(一社) 日本ケーブルラボ	猪俣 亮
18	日本デジタル配信(株)	五十嵐 貴光
19	日本放送協会	倉掛 卓也
20	パナソニック システムソリューションズジャパン (株)	影山 光宏
21	HUMAX(株)	青山 泰忠

4 実証実験の前提

4.1 IP 放送の定義

研究会では IP 放送を 管理された IP ネットワークを利用した IP マルチキャスト方式による通信であって、放送法における放送に該当するものと定義している。 IP 放送では、地上基幹放送、衛星基幹放送の再放送や自主放送等を行い、一般的に OTT(Over The Top)と呼ばれるインターネットによるデジタルビデオ配信は含まれていない。

4.2 RF 方式との関係

研究会では「電波による放送や RF 方式による放送の伝送品質と同等程度で柔軟性の高い技術基準を検討することが適当」としており、具体的に考慮する点は主に「入力信号の品質の確保」、「伝送路上での信号品質の劣化への対処」、「STB(Set Top Box)への入力信号品質の確保」の 3 点である。なお RF 方式では品質基準値という点においては HE(Headend)への入力信号が確保すべき品質、受信者端子で確保すべき品質等が定められている。HE への入力については、例えば、復調後（誤り訂正前）のビット誤り率 BER(Bit Error Ratio)について、衛星基幹放送では「 $BER \leq 1 \times 10^{-8}$ 」、地上基幹放送では「 $BER \leq 1 \times 10^{-4}$ 」であり、受信者端子においては、復調後（誤り訂正後）の BER について、「 **$BER \leq 1 \times 10^{-11}$** 」を前提として受信者端子における技術基準が定められている。

研究会で提示された「RF の伝送品質と同等程度」という考え方については EG 内で議論を重ねた結果、元来伝送方法の違う RF 方式と IP 方式という特性上、数式的な観点では全く同じ品質を特定するのは困難という結論に至った。つまり、 $BER = 1 \times 10^{-11}$ を後述する数式に従って PER (Packet Error Rate) に変換することで $PER = 1 \times 10^{-7}$ を得ることはできるが誤りとなるビット数としては同一ではないという意味においてである。よって、EG としての解釈は RF 方式で示されている品質は、設定されたビットレートに対する時間単位における誤り発生回数を指しているもので、これと同等のビットレートにおいて時間単位における誤り発生回数を IP ネットワークの伝送路上で得られれば RF 方式の品質と同等であると定義した。

4.3 省令の適応範囲

研究会では品質省令(強制規格)の適応範囲を図 4-1 のとおりに想定しており、伝送路の品質を規定しようとしていることを明確化している。

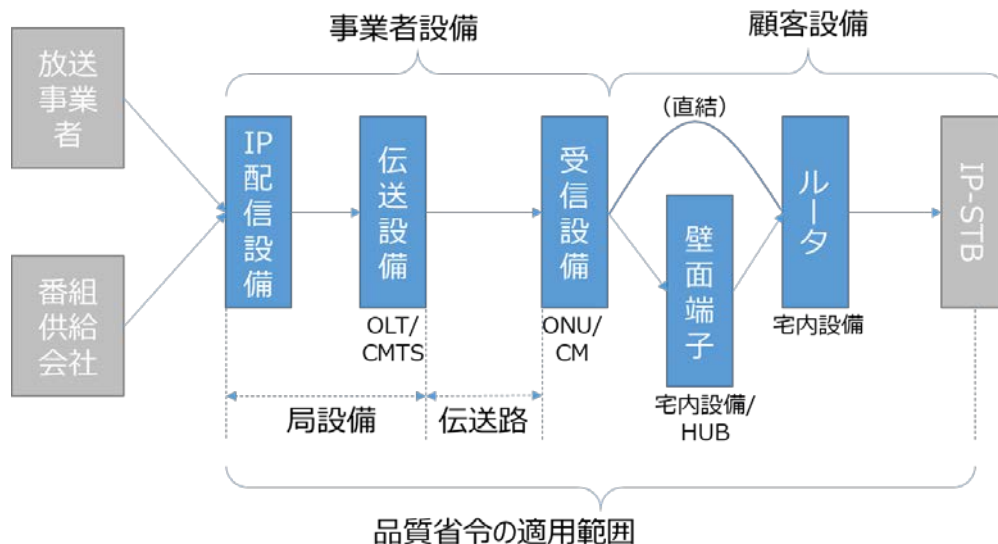


図 4-1 品質省令の適応範囲図

4.3.1 入力信号と伝送路についての考え方

入力信号とはアンテナなどの設備によって放送を受信し、これを復調した状態の放送波を指す（OFDM や IF）場合とそこから TS(Transport Stream)を取得した場合の信号を指しており、4.2 で記載した信号の品質値はこれを規定している。同じ入力信号である以上この条件は IP 放送であっても同様と考えられる。

研究会ではケーブルテレビ事業者が「中継網」および「アクセス網」において帯域を確保する点に触れており、どちらも伝送路設備として考えられている。IP 放送におけるサービス事業者がどのような形態の伝送路を構築するのかは事業者の裁量に委ねられており、当該品質基準値における伝送網とは HE から中継網を経てアクセス網へ至り、そこから STB へ到達することを前提とする。ただし、これらの網は管理されているという定義も重要な要素であり、すなわち優先制御されていることも前提となる。

中継網とは一般的にアクセス網同士をまたぐ場合や、ある一定のネットワーク領域を相互に接続する、もしくは事業者間の接続において利用されるものを指し、電氣的なスイッチまたはルータによって構成される部位を指して中継機器とする。また、アクセス網とは FTTH(Fiber To The Home)や HFC(Hybrid Fiber Coaxial)

と呼ばれる伝送方法で前者の場合 PON(Passive Optical Network)による光伝送技術があり、後者は DOCSIS(Data Over Cable Service Interface Specifications)と呼ばれる同軸線を介した伝送技術がある。本書ではこの両方の伝送方式を実験の対象としている。

4.3.2 棟内環境についての考え方

FTTH においては集合住宅などの設備で棟内共用スペースまで光化され、そこから各戸までは VDSL により伝送されている場合や管理組合が保有する既設の設備等ケースがあるが、これはサービス提供事業者が自身では管理できない機器装置が存在しうることを示唆している。測定方法や基準値などはこれらを考慮する必要がある。

4.3.3 宅内環境についての考え方

ONU(Optical Network Unit)または DOCSIS の CM(Cable Modem)から STB の間は Ethernet ケーブルで直結される場合もあるが、ルータやハブなどで分配されるケースが多くあり、これらの機器は棟内環境と同様、サービス提供事業者が管理できない機器装置である場合がある。よって棟内同様に宅内の環境を考慮して測定方法や基準値を実験実証する必要がある。

4.4 研究会での技術品質基準の考え方

研究会では伝送品質として「受信者端子において実質的に誤りを生じない技術的条件（パケット損失率・遅延・揺らぎ）の在り方」と「技術基準に適合していることを実用的に確認できる適切かつ 合理的な測定方法」の 2 項目に言及されている。

4.5 参照すべき品質や測定に関する文書

4.5.1 ITU-T 勧告 J.241

ITU-T 勧告 J.241(Quality of service ranking and measurement methods for digital video services delivered over broadband IP networks)は、デジタルビデオにおける測定と品質について言及された文書である。この中で HE(Headend) から CPE(Customer Premises Equipment)(STB)における IP レイヤ の計測と計測項目が影響を与える部位を解説している。研究会で言及された IP パケットの損失率・遅延・揺らぎについては表 4-1 の様に纏められている。

表 4-1 ITU-T J.241 C.3.1 Parameters より抜粋

Parameter	Equipment	Motivation	Monitoring method
Packet loss ratio	CPE(STB)	Image quality, video information loss estimation	In service or through test streams with RTP/RTCP or sequence numbers available on packet header. Periodic PLR summary. Reports with one-minute resolution. Measurement of PLR requires analysis of a number of packets at least 10 times greater than the number related to the target PLR value. This determines the rate at which the PLR is reported.
Network latency	Test probe at user side, within CPE (STB) or as close as possible to user access link.	Smooth play-out	Test stream
Jitter	CPE (STB)	Smooth play-out	In service or through test streams with RTP/RTCP or timestamps available on packet header.

なお、遅延(latency)および揺らぎ(jitter)については次のような言及がある
「Latency and jitter values may vary according to specific multimedia service characteristics, such as interactivity, and according to the size of the de-jitter buffer and of the play-out delay employed at the CPE (STB) side。」このように IP パケットの損失率は映像品質に影響するものであり、パケットの遅延およびその揺らぎは STB のバッファによって吸収されるべき問題であり、映像の再生開始時間に影響することが判る。

IP 放送サービスでは、放送の受信から送出までの間にもパケットの遅延や揺らぎが発生する余地があり、伝送路上にもマルチキャストの分配を行うルータでパケットの損失や遅延が発生する要素がある。これらを全く排除することはかなわず、STB としてはこれらを想定して設計されるものと考えられる。

4.5.2 ITU-T 勧告 Y.1541

ITU-T 勧告 Y.1541(Network performance objectives for IP-based services)は、同 J.241 からも参照されており、ネットワークの QoS を定義しており、この中でビデオサービスの QoS Class を 4 (低い値) と定義している。ただし、ここでのビデオサービスはオンデマンドビデオのような OTT サービスを指しており、この値が適当ではない可能性もある。また VIII.3.4 には放送事業者などを対象とした MPEG-2 TS に関する誤り/損失のレートが例示されており、FEC(Forward Error Correction)についても言及がある。なお、QoS Class 4 の IPLR (IP packet Loss Ratio) は 1×10^{-3} で IPER (IP packet Error Ratio) は 1×10^{-4} と定義している。

4.5.3 IPTV 規定 STD-0004、0005、0009

IPTV フォーラムでは IPTV 規定として、IPTVFJ STD-0004(IP 放送仕様)、0005(地上デジタルテレビジョン放送 IP 再送信運用規定)および 0009(BS デジタル放送 IP 再送信運用規定)においてパケット損失を考慮した FEC に関する規定がある。その中で FEC を搭載する場合、Pro-MPEG FEC Code of Practice #3 release2(Pro-MPEG FEC COP3)を推奨している。また、ジッタ(揺らぎ)の許容性能については同運用規定において 100msec 以下を推奨値、300msec 程度を当面の許容値としている。

4.6 各要素の定義

4.6.1 パケット損失 (IP Packet Loss)

パケット損失は、IP ヘッダや UDP(User Datagram Protocol)ヘッダのチェックサムで誤りと判断された場合や Ethernet のフレームチェックシーケンス (FCS: Frame Check Sequence) による誤りによってフレーム内容が消失していると判断された場合に、パケットが破棄されることを指す。パケット損失を終端装置で見た場合、FCS によって NIC (Network Interface Card) が破棄したものか、アクセス網の最終段で ONU や CM(Cable Modem)がチェックサムの誤りで破棄したものか、もしくは途中経路上のルータが破棄したものかは判断できない。ここで定義するパケット損失とは送出されたすべてのパケットに対する終端装置である IP-

STB 内で RTP(Real-time Transport Protocol)のストリームからペイロードを取り出す前段階で、何かしらの理由によって破棄された全てのパケット数の割合とする。

4.6.2 遅延 (Latency)

ここで定義するパケットの遅延とはデータが送信元サーバから送り出された送出時間 (RTP タイムスタンプ) と終端装置における受信時間との差を指し、伝送経路上のルータなどでバッファされた場合や経路切り替えなどでパケットの伝達に時間を必要とすることなどにより発生する。なお、エンコーダ内部で RTP のパケットにスタンプされた時間は、伝送経路上に配信される時点で既に遅延をはらんでいるが、ここでは伝送経路上に配信されてから終端装置にてパケットが受信される範囲である。また、RTP のシーケンス順が正順とは異なって終端装置に到達する場合も終端側で遅延とみられることがあり、単にフラグメンテーションした IP の復元というよりも、RTP のシーケンスに影響することを指す。

現状の IPTV 規定では TS(Transport Stream)にタイムスタンプが付与された TTS(Time-stamped Transport Stream)の場合、RTP のタイムスタンプを無視して TS を再構築する運用仕様となっているが、ここでは RTP のタイムスタンプを参照して実験を行う。

4.6.3 揺らぎ (Jitter)

ここでの IP パケットの揺らぎとは遅延の一種であり、遅延時間の最大値があるとするればその閾値内で到達時間に早い遅いの間隔があることを指す。この間隔は一定ではなく、揺らぎがある場合は RTP の到着シーケンス順がバラバラになると考えられる。

4.6.4 遅延と揺らぎの測定基準

本実験では測定器に到達するパケットの平均遅延時間を遅延と定義し、遅延の内最悪の値を揺らぎの値とする。

5 実験の目的と机上検討

5.1 実験の目的と呼称

実証実験では 2 つの仮説を検証することを目的とする。一つ目は物理層の品質要因が IP 層に影響を与えうるのか、また相関関係があるのかを実験するもので、これを「物理層実験」と呼ぶ。もう一つは IP 層の品質が最終的に映像品質に影響しうるのか、また相関関係があるのかを実験するものでこれを「IP 層実験」と呼ぶ。それぞれの実験において設定した項目との相関及び閾値が妥当であることを実証し、伝送品質に関する技術的条件の策定に資する。

5.2 物理層品質と IP 層の関係性

現在の品質省令における技術基準として 64QAM(Quadrature Amplitude Modulation)の変調方式による場合、入力信号の条件として、地上基幹放送は $BER=1 \times 10^{-4}$ 以下、衛星基幹放送は $BER=1 \times 10^{-8}$ 以下と規定しており、受信者端子における規定は搬送波の雑音レベル比が 26dB 以上としている。これは入力信号が伝送路上で劣化しなければ、STB への入力時点で CN 比(Carrier to Noise Ratio)を制御することで結果的に BER の値を制御しうるということであり、CN 比と BER の間には相関関係が成り立つことを示している。

品質省令に規定された RF 方式と同様に考えた場合、入力信号の条件は同様であるため考慮すべきは受信者端子 (STB) の入力となるが、BER の値を 1×10^{-11} としてパケット誤り率 PER(Packet Error Ratio)の値は、Packet size (P) と BER(Bit Error Ratio)から値を求めることができる。

$$PER = 1 - (1 - BER)^P$$

IP 放送のパケットサイズを 188 (TS のパケットサイズ) $\times$ 8 (ビット長) $\times$ 7 (IP に収納されている TS のパケット数) として PER の値を以下のとおり求める

$$PER = 1 - (1 - 1 \times 10^{-11})^{(188 \times 8 \times 7)} \approx 1 \times 10^{-7}$$

STB に入力される IP 放送のパケット誤り率 (PER) が 1×10^{-7} であって、受信者端子に至るまでの伝送路でこれよりも低い誤り率を保てるのであれば受信者端子での入力値は結果的に BER が 1×10^{-11} であると仮定する。このとき、伝送路が GE-PON であれば、規格上 BER は 10^{-12} であり入力信号よりも誤り率が低い。仮に図 5-1 の測定点 a から測定点 b の間の伝送路が PON のシステムのみであった場合、b の受光パワーが規格を満たしているとき、理論上は ONU から出力される

信号が入力時よりも劣化することがないと言えるため、受信者端子への入力も担保しうる可能性がある。また、a と b の間に PON 以外の伝送路があった場合でも、OLT への入力信号が $PER=1 \times 10^{-7}$ であれば同じことがいえる。

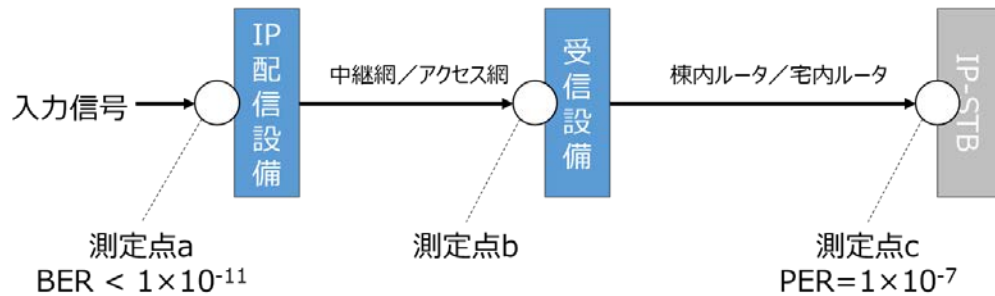


図 5-1 入力信号の BER と STB の入力信号の PER の関係

この方式は誤りを検知する必要があるが、ONU の出力では既に誤りのあるパケットが破棄されている点に問題がある。つまり、ONU の出口で検知しえるのは既に破棄されたパケットの損失という状態であり、誤りという形では検知できない。

5.3 物理層品質とトランスポート層の関係性

入力された放送波は復調後に MPEG-2 TS の TS パケットを抽出され、場合によってはタイムスタンプを付与された後、RTP パケットに格納される。またその後段では UDP ストリームとして配信される。仮に、UDP に格納された RTP パケット及び TS パケットが放送波の品質状態を保っているとして、受信者端末まで到達した場合、UDP のペイロードにあるビット誤りを見ることで入力信号と同等の品質を保っているかを検証することができる。

実験では試験信号として UDP のペイロードにランダムなビットを書き込み、これを配信と受信で比較することでビット誤りを測定する。また、このときの伝送路の品質状態と UDP の BER に相関性があれば伝送路品質によって UDP ペイロード（映像コンテンツ）の品質を担保することと規定することが可能である。

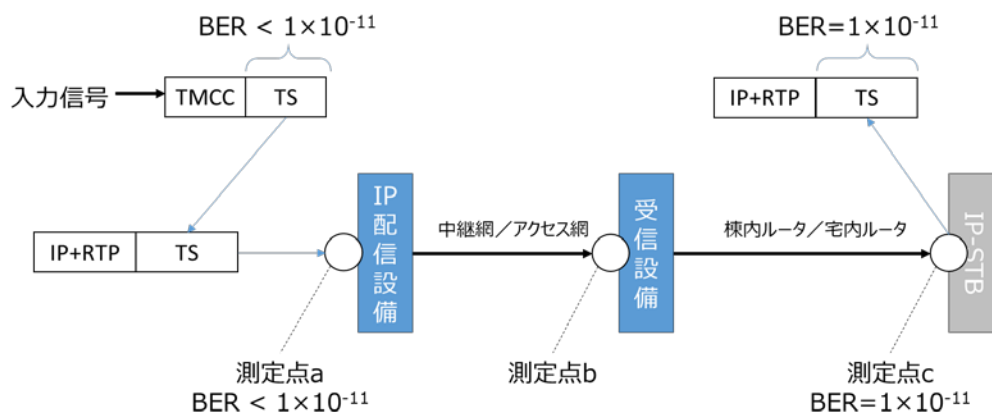


図 5-2 入力信号の BER と UDP の BER

また、UDP のヘッダにはチェックサムが付加されており、これをもってフレームの破棄を検知することができる。つまりパケット損失としてカウントすることもできるため、5.4 の映像品質との関係性実験にも利用可能である。

5.4 IP 層品質と映像品質の関係性

前述の BER と PER の関係とは違い、入力信号の BER と受信者端子で検知しえる IP パケット損失には直接的な関係性は証明できない場合がある。つまり、ビット誤りが頻発し、IP ヘッダのチェックサム誤りによる損失につながる場合に起きる経路上の IP パケットの損失だけではなく、中継網での輻輳や経路切り替えなど、何らかの要因によってパケットが破棄される場合や、STB への IP 到達遅延が結果としてパケットの破棄と同等の結果となる場合があるという意味で、BER と PER の関係ほど単純ではない。IP 層の品質実験はこういったネットワーク環境の複雑性を考慮し、何らかの要因でパケットが損失または遅延したと仮定して、これが映像品質にどのような影響を与えるのかを検証する。

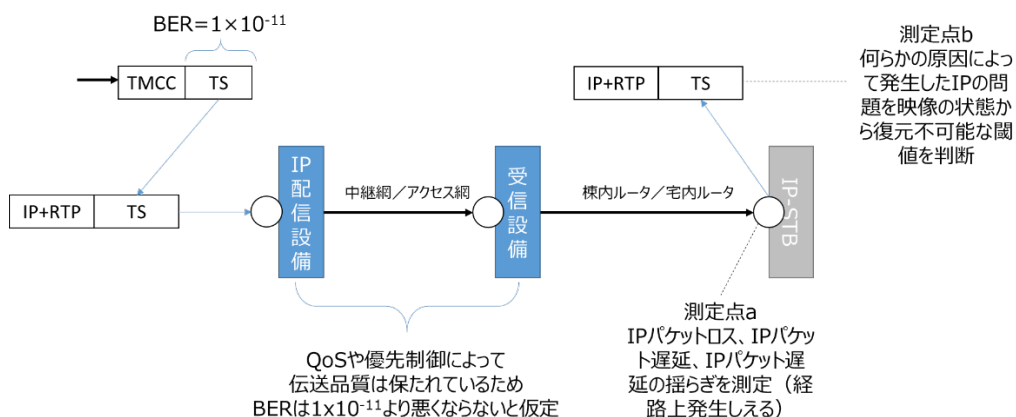


図 5-3 パケット損失と遅延と揺らぎ

ただし、伝送路の品質を保つための技術的基準を定めるにあたっては優先制御における値を検討する必要があるため GE-PON であれば LLID(Logical Link Identifier)の値であり、L3(Layer 3)スイッチや DOCSIS であれば QoS(Quality of Service)の値を検討し IP パケットの損失を防ぐための指標とする。

映像品質については MPEG-2 TS の符号的な誤りを検知することで正常、非正常を判断するため、STB 内で RTP から取得した MPEG-2 TS の正常性(コンプライアンス)を確認することになる。結果として映像品質の正常性を認められれば伝送路上で誤りが発生しなかった、もしくは誤り訂正によって復元可能な状態程度に損失していたということになり、パケットの状態から状況的に伝送路品質が担保されていたことを推測することが可能かを検証する。

6 実証実験要件

実証実験の要件を以下のとおりとする。

No.	要件	備考
1	RF 方式による放送の伝送品質と同等程度で柔軟性の高い技術基準を検討するための実験結果を提示すること	具体的に考慮する点は主に「入力信号の品質の確保」、「伝送路上での信号品質の劣化への対処」、「STB への入力信号品質の確保」
2	実際のサービスネットワークを模し、可能な限り現状の機器構成に準ずること	特殊な仕様の機器を排除し、実サービスで利用されている機器を使用する等
3	実フィールドにおいて検証可能な測定であること	現実的な測定基準であり、容易に入手可能な測定機器を利用すること
4	測定の結果、品質を担保する技術的な値が判断できるものであること	特になし
5	測定において伝送の品質劣化が映像品質に影響することを証明し、またその改善も影響する相関を証明すること	特になし

7 實驗環境

7.1 物理層實驗環境

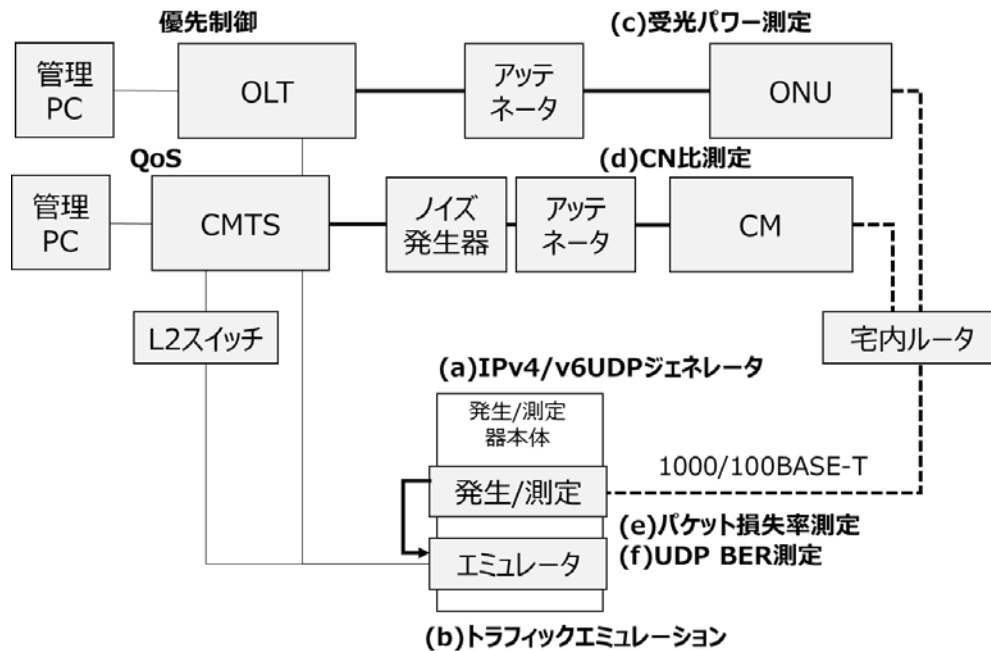


圖 7-1 物理層實驗環境

(a)の測定器の UDP ジェネレータによって発生した UDP/IP ストリームを (b)のエミュレータに入力してトラフィックに負荷をかける。ここでは中継網以上で発生しえる伝送路の状態を模することが想定される。次にエミュレータから出力されたストリームは伝送装置に送られる。FTTH のアクセス網を模した OLT と ONU 間は優先制御を施し、UDP/IP の帯域を確保する。同様に HFC のアクセス網を模した CMTS(Cable Modem Termination System)と CM(Cable Modem)の区間は QoS を設定し、帯域を確保する。アクセス網はそれぞれ(c)受光パワーと(e)CN 比を測定する。ONU と CM から出力された UDP/IP は宅内環境を模したルータなどを経て測定器へ入力される。測定器では (e)パケット損失 (f) UDP の BER を測定し、確認する。

7.2 IP 層實驗環境

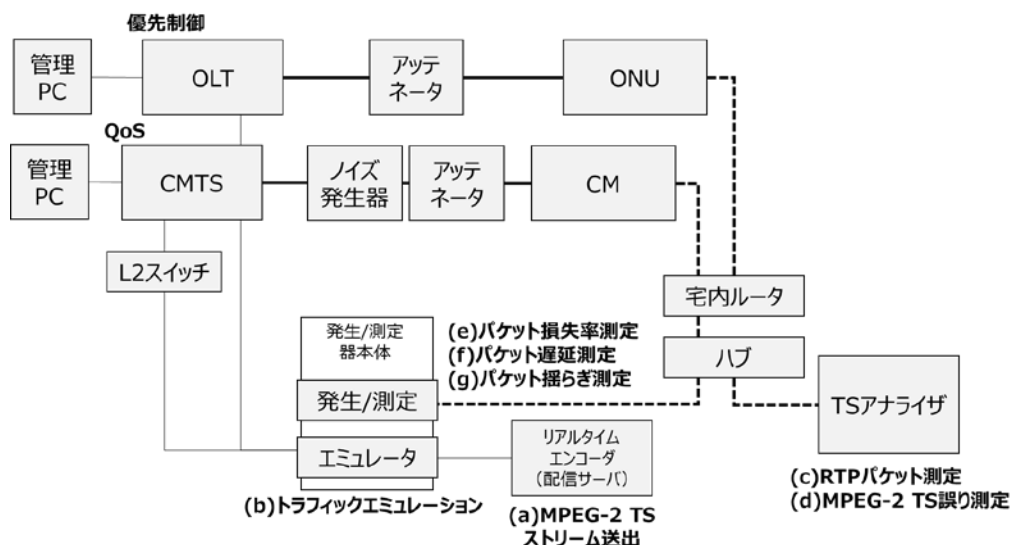


圖 7-2 IP 層實驗環境

(a)のリアルタイムエンコーダ（配信サーバ）によって発生させた MPEG-2 TS の RTP ストリームを(b)のエミュレータにて変化を加える。主な変化パラメータは IP パケットの欠損、IP パケットの遅延、IP パケットの遅延揺らぎである。ここでは中継網以上で発生しえる伝送路の状態を模することが想定される。FTTH のアクセス網を模した OLT と ONU 間は優先制御を施し、UDP/IP の帯域を確保する。同様に HFC のアクセス網を模した CMTS と CM の区間は、QoS の設定を行い、帯域を確保する。ONU と CM から出力された UDP/IP は宅内環境を模したルータなどを経て測定器へ入力される。(c)RTP 及びペイロードの(d)MPEG-2 TS の TS ストリームを TS アナライザで測定する。また、(e)パケット損失、(f)パケット遅延、(g)パケット遅延揺らぎを測定器で測定する。

なお、音声や映像などのデータストリームを伝送する RTP(Real-time Transport Protocol)は IPTV フォーラム等の規格でも採用されており、一般的に普及しているプロトコルである。

7.3 優先制御

7.3.1 FTTH における優先制御

GE-PON における優先制御は、ToS(Type of Service)によるクラシフィケーション及び最低帯域保障により行う。IP 放送を想定した UDP(RTP)/IP ストリームは ToS=5 に設定し、GE-PON の LLID (Logical Link ID) =1 に割り当て、負荷となる UDP/IP ストリームは ToS=0 に設定し、LLID=2 に割り当てる。さらに、最低保証帯域は、LLID1=100Mbps、LLID2=0Mbps (帯域保障しない) に設定する。

なお、今回の実験では優先制御機能の効果を確認するため、OLT~ONU 間の帯域をアグリゲートシェイパー(Aggregate Shaper)機能により 500Mbps に制限した。これにより、IP 放送ストリーム (ToS=5)=80Mbps、負荷ストリーム (ToS=0)=500Mbps の合計 580Mbps のストリームを流した場合、ToS=5 のストリームは帯域保障によりパケット損失が発生せず、ToS=0 の負荷ストリームは残り帯域の 420Mbps だけ伝送され、80Mbps 分は破棄される。

7.3.2 HFC における優先制御

今回 HFC ネットワーク環境における実験で使用した CMTS (Cable Modem Termination System) と CM (Cable Modem) は CableLabs®の DOCSIS(Data Over Cable Service Interface Specification)3.1 仕様に準拠したもので、DOCSIS3.1 の 1 つ前の仕様である DOCSIS3.0 仕様からは複数の搬送波を使用して下りの帯域拡張を行うチャンネルボンディングとマルチキャストに対する QoS 機能が実装されている。今回の実験においても、そのマルチキャストに対する QoS 機能を使用して、マルチキャストに対する優先制御を適用した上で実験を実施した。

DOCSIS3.0 での QoS 機能については DOCSIS3.0 仕様書の 1 つである “MAC and Upper Layer Protocols Interface Specification” (CM-SP-MULPIv3.0-C01-171207) のセクション 7.5.8 QoS Support for Joined IP Multicast Traffic に記載されており、その概要は以下のとおりである。

- (1) QoS を適用するマルチキャストの識別/設定方法
- (2) QoS を適用するマルチキャストトラフィックの CMTS からの伝送方法
- (3) 動的に QoS を適用するための IGMP/MLD を利用した CMTS—CM 間でのシグナリング方法
- (4) QoS を適用するマルチキャストトラフィック以外のマルチキャストトラフィックの取り扱い方法

DOCSIS 仕様においては、サービスフロー (SF) と呼ばれる論理的な伝送パイプを規定しており、そのサービスフロー毎に QoS を適用することが出来るようになっている。サービスフロー毎に優先順位や最大伝送帯域幅等の設定を行うことが可能となっており、トラフィック (パケット) のサービスフローへの振り分け (割り当て) はクラシファイヤーと呼ばれるパケット識別により、IP アドレスやそのレンジ、TOS ビットの設定内容等で優先順位を決めたそれぞれのサービスフローにトラフィックの振り分けを行うことができるようになっている。

DOCSIS2.0 まではユニキャストのみにこの仕組みが適用されていたが、

DOCSIS3.0からマルチキャストについてもグループサービスフローという概念を導入し、同様な QoS の適用が動的な帯域割り当てとともに行われるようになった。

今回の実験においては、以上の仕様に従ったマルチキャストの優先制御を以下の設定の下で QoS の適用を行った。

- A. 実験で使用するマルチキャストグループアドレスへのみ優先制御が行われるように設定。優先制御は特定のマルチキャストグループアドレスもしくはレンジに対して設定可能。優先制御をかけるマルチキャストの間で最大 256 段階の重み付け設定を行うことも可能。(今回の実験では未使用)
- B. 優先制御を行うマルチキャストグループアドレスに対する上限帯域幅 = 200Mbps、下限帯域幅 = 1Mbps に設定。

マルチキャストに対する優先的な帯域割り当ては、マルチキャストを受信（リッスン）する CPE（IP-STB 等）からの IGMP/MLD ジョイン(JOIN)により動的に行われ、マルチキャストが伝送されている期間は維持される。視聴が終わると IGMP/MLD のリーブ(LEAVE)、もしくはタイムアウトで帯域割り当ては削除されるため、該当するマルチキャストが伝送されていない時間は他のトラフィックで帯域を共有することが可能となっている。

上限帯域幅の設定については、当初 100Mbps と設定していたが、8.6.2 で記載のとおり、パケットの揺らぎをエミュレータで最大 500msec 加えた際に最大 200Mbps 程度のバースト的なマルチキャストストリームが CMTS に入力され、CMTS から出力される際に 100Mbps の上限設定速度を超えたことからパケットシェーピングが行われた。このとき、IP-STB で正しく再生できないことが確認されたため、バースト上限に近い 200Mbps の上限帯域幅を設定して実験を行った。

8.3.1 に記載のとおり、今回の実験は下り QAM 搬送波を 8 波ボンディングし、実質的な伝送可能なペイロード帯域としては 280Mbps であるため、IP 放送相当のマルチキャストストリームを 80Mbps で流している状態で、他のデータ通信トラフィックを想定したユニキャストトラフィックを 300Mbps で同時に流した場合、マルチキャストストリームは優先制御によりパケットの損失がなくネットワークアナライザに到達が確認され、ユニキャストトラフィックについては、

$$300\text{Mbps} - (280\text{Mbps} - 80\text{Mbps}) = 100\text{Mbps}$$

がネットワークアナライザで観測されれば、想定通りに DOCSIS3.0 仕様のマルチキャストに対する優先制御(QoS)が適用されていることを確認できる。

7.4 実験データと計測時間

7.4.1 実験データ

実験データとして以下のデータとビットレートを用いる

No.	データ内容	ビットレート	備考
1	UDP ストリーム ※ ¹	12Mbps	信号発生器から出力する UDP ストリームでペイロードにはランダムなビット列を格納する
2		30Mbps	
3		60Mbps	
4		80Mbps	
5	RTP ストリーム ※ ²	12Mbps	リアルタイムエンコーダから出力される RTP のストリームでペイロードに MPEG-2 TS を格納する
6		30Mbps	
7		60Mbps	
8		80Mbps	

※¹ UDP ストリームと記載しているが実際は RTP のパケットである。※² のストリームと区別するために便宜的に記載している。

※¹※² ともにビットレートは TS のみのビットレートで FEC の容量を含まない。

なお、4K と 8K の映像音声もサービスとしては対象となるが、平成 30 年 6 月現在では TLV/MMT の IP 再放送運用仕様はなく、実験するためのデータ及び伝送方法はない。TLV/MMT のパケットは仕様上 Ethernet の規定パケットサイズを超える可能性があるが、一般的な機器設備をパケットが通過することを考慮すると Ethernet の規定パケットサイズに収まることが推測される。その場合、UDP のペイロード構造が MPEG-2 TS と違うという課題が残るが、実験において検知しえるデータである必要から、この問題は本実験の対象外とする。

7.4.2 BER 計測時間

実験データの誤りを得る測定時間は、測定時間 t 、信頼度 c (Confidence Level)、ビット誤り率 b 、伝送速度 r として次の式によって定める。

$$t = -\frac{\ln(1 - c)}{b * r}$$

BER の値を 1×10^{-11} とし、信頼度 c を 95% として計算した結果を以下の表にまとめる。

No.	ビットレート	測定時間
1	12Mbps	23807 秒 (6 時間 36 分)
2	30Mbps	9523 秒 (2 時間 36 分)
3	60Mbps	4761 秒 (79 分)
4	80Mbps	3571 秒 (60 分)

7.4.3 PLR 計測時間

IP パケットの誤りを得る測定時間は、測定時間 t 、パケット誤り率 b 、映像のビットレート r 、パケット長 p として次の式によって定める。

$$t = b / (r / 8 / p)$$

誤り率を 1×10^{-3} から 1×10^{-7} として、ビットレートを 12Mbps から 80Mbps、パケット長を 1500 で計算した結果を表 7-1 にまとめる。

表 7-1 PLR 一覧

No.	ビットレート	誤り率	測定時間
1	12Mbps	1×10^{-3}	1 秒
2		1×10^{-4}	10 秒
3		1×10^{-5}	100 秒
4		1×10^{-6}	16.7 分 (1000 秒)
5		1×10^{-7}	2.8 時間 (166.7 分)
6	30Mbps	1×10^{-3}	0.4 秒
7		1×10^{-4}	4 秒
8		1×10^{-5}	40 秒
9		1×10^{-6}	6.7 分 (400 秒)
10		1×10^{-7}	1.1 時間 (66.7 分)
11	60Mbps	1×10^{-3}	0.2 秒
12		1×10^{-4}	2 秒
13		1×10^{-5}	20 秒
14		1×10^{-6}	3.3 分 (200 秒)
15		1×10^{-7}	33.3 分 (2000 秒)
16	80Mbps	1×10^{-3}	0.2 秒
17		1×10^{-4}	1.5 秒

18		1×10^{-5}	15 秒
19		1×10^{-6}	2.5 分 (150 秒)
20		1×10^{-7}	25 分 (1500 秒)

7.4.4 データ量の想定

当実験における背景データなどのデータ量を以下のとおり定義する。

No.	ビットレート	ストリームの本数	備考
1	12Mbps (UDP)	9+10	地デジ+BS 相当
2	6Mbps (UDP)	51	自主放送相当
3※1	6Mbps (TCP)	2	OTT 相当

※1 宅内環境における動画視聴を想定する場合に使用する

7.4.5 前方誤り訂正(FEC)について

ビットレートについて 7.4 に記載のものは TS のペイロードにおけるビットレートであり、FEC を含まない。なお、アプリケーションレイヤに係る FEC は実験においてリアルタイムエンコーダによって付与されることを前提とする。

8 実施結果

8.1 FTTH の物理層実験結果と見解

8.1.1 優先制御の確認

計測器の UDP ジェネレータの送出設定を 80Mbps と 500Mbps の UDP の 2 ストリームとし、PON の設備を 7.3.1 のとおりに設定した。この状態で 80Mbps に設定した UDP ストリームが全量受信できていることを確認し、500Mbps に設定した UDP ストリームが損失として計測されていることを確認した。これは事前に想定した通りの結果である。

8.1.2 机上検討と実験結果の違い

机上検討 5.2 では UDP/RTP のペイロードにある TS パケットにビット誤りが発生すればこれを比較することを想定していたが、測定器で検知することができる状態はパケットの損失であり、ビット誤りではない。これは、途中経路上でビット誤りが発生した場合、ONU がチェックサム誤りと判断し IP パケットを破棄してしまうためである。なお、信号発生側でランダムなビット誤りパターンをペイロードに挿入する実験も行ったが、ビット誤りが発生した場合前述の理由でパケットが破棄されてしまうため、測定器が受け取った段階ではビット誤りではなくパケットの損失として検知される。そのため、本実験では測定する対象を BER から IP パケット損失率に変更した。

8.1.3 受光パワーの計測と結果

本実験では、現在商用で提供されているインターネット接続サービスのアクセス技術の主流である GE-PON (IEEE 802.3 ah) のうち 1000BASE-PX20 を対象とした。GE-PON の受信仕様は表 8-1 のとおりであり、1000BASE-PX20-U が D-ONU にあたる。

表 8-1 1000BASE-PX20 の受信仕様 (IEEE 802.3ah : Table 60-8)

Description	1000BASE-PX20-D	1000BASE-PX20-U	Unit
Signaling speed (range)	1.25 ± 100 ppm	1.25 ± 100 ppm	GBd
Wavelength (range)	1260 to 1360	1480 to 1500	nm
Bit error ratio (max)	10 ⁻¹²		
Average receive power (max)	-6	-3	dBm
Damage threshold (max)	+4	+7	dBm
Receive sensitivity (max)	-27	-24	dBm
Receiver sensitivity OMA (max)	-26.2 (2.4)	-23.2 (5)	dBm (μW)

Description	1000BASE-PX20-D	1000BASE-PX20-U	Unit
Signal detect threshold (min)	-45	-44	dBm
Receiver reflectance (max)	-12	-12	dB
Stressed receive sensitivity (max)	-24.4	-22.1	dBm
Stressed receive sensitivity OMA (max)	-23.6 (4.3)	-21.3 (7.4)	dBm (μ W)
Vertical eye-closure penalty (min)	2.2	1.5	dB
T _{receiver_settling} (max)	400	N/A	ns
Stressed eye jitter (min)	0.28	0.25	UI pk-pk
Jitter corner frequency	637	637	kHz
Sinusoidal jitter limits for stressed receiver conformance test (min, max)	(0.05, 0.15)	(0.05, 0.15)	UI

受信仕様ではビット誤り率が最大 10^{-12} とされており、これを満たすための各種項目が規定されている。光信号波のタイミングの時間軸方向の揺らぎの許容値は D-ONU 入力において 352(ps) 以下[IEEE 802.3ah : Table 60-10]であるが、D-ONU のフレーム復元処理において吸収されるため、出力信号のビット誤り率への影響は受信感度 (Receiver Sensitivity) が支配的である。そこで本実験における物理層実験として ONU 入力の受光レベルと出力の IP パケット損失率の相関性を検証する。

本実験に提供された試験機 D-ONU の製品仕様における許容受光レベルは-3～-25.5(dBm) (IEEE 802.3ah では-3～-24dBm)であることから、実験手順 (Appendix 2.1.2 参照) では受光レベルを-25.5(dBm)以下としたときの IP パケット損失率の測定を行った。

測定により得られた結果を表 8-2、図 8-1、表 8-3、図 8-2 に示す。なお、伝送した UDP ストリームのビットレートは 80Mbps と 12Mbps とし、波長は下り (OLT→ONU) : 1490nm、上り (ONU→OLT) : 1300nm である。

表 8-2 80Mbps における受光レベルと IP パケット損失率

受光レベル(dBm)	IP パケット損失率
-32.50	1.69E-01
-32.00	2.35E-02
-31.50	1.53E-03
-31.00	1.27E-04
-30.70	4.69E-06
-30.50	2.32E-06
-30.30	4.63E-07
-30.00	< 1.00E-07
-25.50	< 1.00E-07

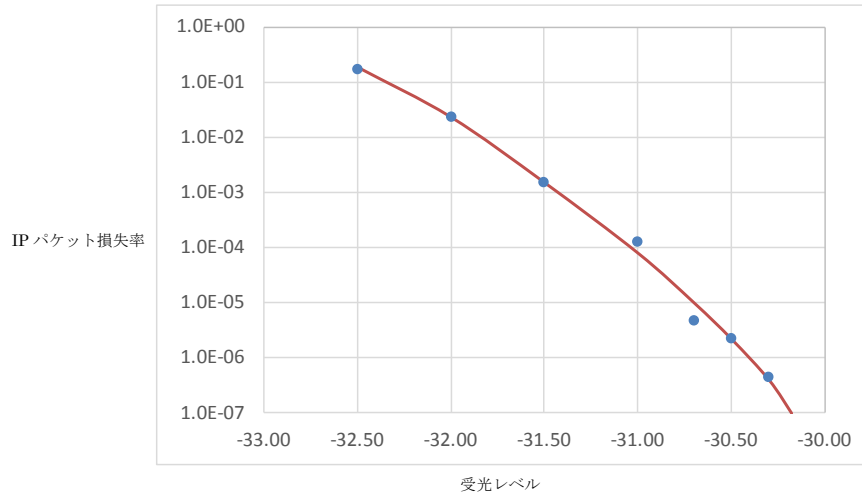


図 8-1 80Mbps における受光レベルと IP パケット損失率の関係

表 8-3 12Mbps における受光レベルと IP パケット損失率

受光レベル(dBm)	IP パケット損失率
-32.50	1.53E-01
-32.00	3.01E-02
-31.50	1.50E-03
-31.00	1.09E-04
-30.70	5.21E-06
-30.50	< 1.00E-07
-25.50	< 1.00E-07

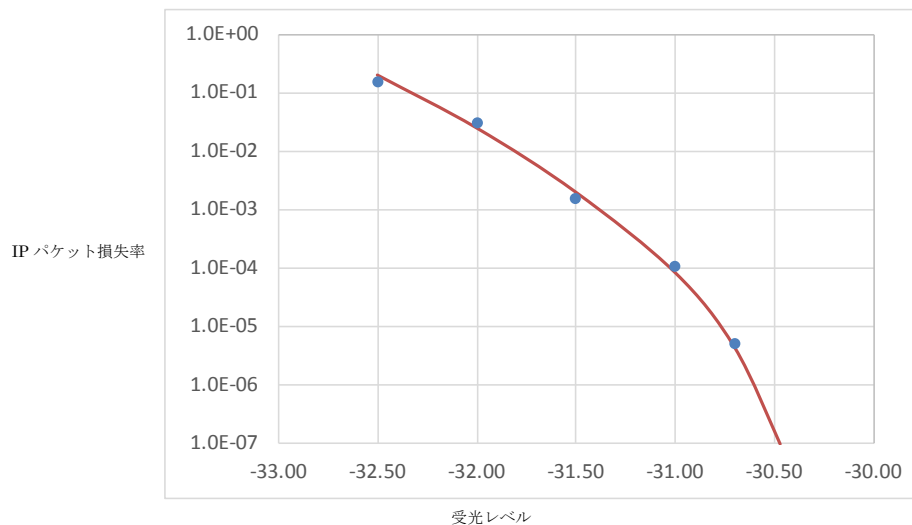


図 8-2 12Mbps における受光レベルと IP パケット損失率の関係

得られた受光レベルと IP パケット損失率との相関係数 $|R|$ を求めると、

80Mbps $|R| \doteq 0.739$

12Mbps $|R| \doteq 0.810$

であり、強い相関がみられる。したがって、IP パケット損失率は受光レベルから推測可能であると考えられる。

IP 伝送路では、誤りを含む IP パケットを検知した箇所で破棄する。そのため、IP 伝送路の始点～終点における IP パケット損失には誤りにより破棄された IP パケットが含まれる。また、IP パケット化時に IP パケットとして整合性が担保されるため、IP パケット化処理の入力信号の誤りは IP 伝送路上の誤りとしてカウントされない。そのため、入力信号の誤りがそのまま受信機へ伝送され、HE 入力品質は IP 伝送路品質に影響しない。

5.2 節から、本実験が目標とする IP パケット損失率は 1×10^{-7} 以下であり、GE-PON においては、図 8-1 と図 8-2 から $-30.2(\text{dBm})$ 以上で満たしている。IEEE 802.3ah 仕様および D-ONU 製品仕様のいずれの最低受光レベルも $-30.2(\text{dBm})$ よりも大きいことから、仕様に準じて運用することで PON 区間の信号品質は IP パケット損失率の基準を満たすことが可能である。

このほかの PON の方式についても、各方式の仕様におけるビット誤り率を 10^{-12} 以下とする前提で物理層が規定されており、同様に結論づけることができる。

また GE-PON では前方誤り訂正 (FEC) の利用が必須でないため、本実験では FEC を利用していない。FEC を利用することでビット誤り率が低減されるため、

IP 伝送路の品質によっては FEC の利用により受信信号の品質を担保することが可能である。

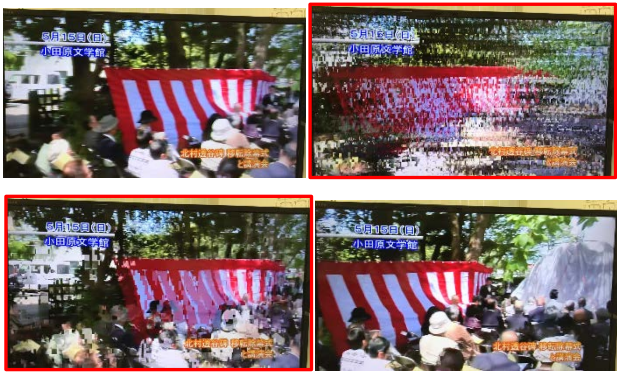
以上から、FTTH アクセス網伝送区間における IP パケット損失率は物理層の信号条件により担保可能である。ただし、PON 方式により最低受光レベルが異なるため、利用する方式が定める最低受光レベルにより運用する必要がある。

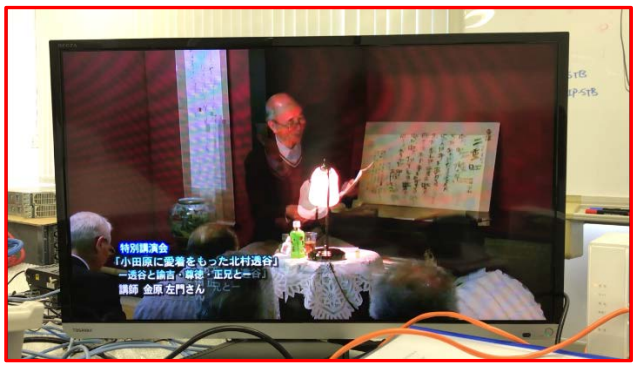
8.2 FTTH の IP 層実験結果と見解

8.2.1 パケット損失の計測と結果

本実験ではリアルタイムエンコーダから送出された UDP/RTP のストリームを測定器のエミュレータによって 1×10^{-3} から 1×10^{-6} ※1 までの幅でパケットを欠損させ TS アナライザによって、発生した MPEG-2 TS のコンプライアンス違反を観察した。なお、同時に IP-STB でも映像音声の状態を観察しているため、参考情報として画面の撮影データを掲載する。撮影した画面で映像に問題が発生しているフレームを赤枠で囲っている。

※1 本来は 10^{-7} 以下まで測定すべき事項であるが、エミュレータの性能限界のため、誤り率を 10^{-6} までの範囲で測定を行った。ただし、HFC の物理層実験ではノイズの挿入によって CN を変化させることで 10^{-7} 相当の誤り率を実現できたため、HFC の IP 層実験に 10^{-7} 時の観察結果を掲載する。

No.	ビットレート	誤り率	エラー、映像の状態
1	80Mbps	1×10^{-3}	約 50msec～200msec ごとに Continuity_Count エラー  短いフレーム間隔でブロックノイズが入る
2		1×10^{-4}	約 1.2 秒～1.5 秒ごとに Continuity_Count エラー

			 動きの多いシーンでブロックノイズが入る
3		1×10^{-5}	約 7 秒～23 秒の間隔で Continuity_Count エラー  稀にブロックノイズが入る
4		1×10^{-6}	 誤り検知時点の映像を見ると一瞬フレームがずれたように見えたが肉眼での認知は難しい

Continuity_Count は TS パケットの連続性を確認するためのカウンターであり、TS パケットの欠損を検知している。この誤りの検知は多少の揺らぎがあるものの

誤り率の範囲内であり想定通りの頻度である。誤り出現率が下がることで欠損するフレームが I フレーム以外の B フレームか P フレームである確率が増えることで画像の乱れは認知し辛くなる。

実験で使用したストリームのビットレートは 7.4.1 の RTP ストリームで 12Mbps、30Mbps、60Mbps、80Mbps の 4 種だが、実験結果は誤り検出頻度の違いであり、その頻度は 7.4.3 と一致するためここでは 80Mbps のデータのみを掲載する。また、IPv4 と IPv6 の IP アサインによって実験結果に変化はなく、Continuity_Count の出現頻度・映像のブロックノイズは同様だった。

8.2.2 パケット遅延と揺らぎの計測と結果

本実験ではリアルタイムエンコーダから送出された UDP/RTP のストリームを測定器のエミュレータによって定量的な遅延を発生させることと、遅延量を変化させて揺らぎの状態を生成することで、ネットワーク上で発生しえるパケットの状態が映像に与える影響を測定し映像を観察した。

実験では 80Mbps のビットレートで送出を行い、500msec の定量遅延を入れた状態と揺らぎの量を 500msec から 100msec の間で変化させ TS アナライザで MPEG-2 TS のコンプライアンスを確認した。TS アナライザによって確認された誤り内容は図 8-3 のとおりである。なお、TS アナライザでは IP パケットのバッファリングを行わないため、純粋に TS のストリームとしてコンプライアンスを測定している点に留意されたい。

揺らぎの幅	エラーの状態
100msec	PCR 周波数ドリフトエラー
	PCR オーバーオールジッタ エラー
	PMT 周期エラー
	PIT オーバーリミット
150msec	100msec に同じ
200msec	100msec に同じ
300msec	100msec に同じ
500msec	100msec に同じ

図 8-3 IP パケット遅延揺らぎの実験とエラーの一覧

遅延及び揺らぎの実験では誤りの発生量は異なるものの内容は同じものである。実験中に IP-STB が出力していた映像に乱れはなかったが TS アナライザで確認可能な映像のサムネイルは破たんしていたことから IP-STB にバッファがない場合

は正常に再生できない。これは IP-STB が持つ IP パケットのバッファが本来発生するであろう MPEG-2 TS のコンプライアンス違反を吸収しているものと思われる。また、IP-STB から出力された揺らぎ量は実験で挿入した量の遅延量と比して変化はするが、同量に変化しない点から実験に使用した IP-STB の特性によって吸収されているものと思われる。

8.3 HFC の物理層実験結果と見解

8.3.1 QoS の確認

測定器の UDP ジェネレータで発生させる UDP/RTP のビットレートを 80Mbps とし、背景トラフィックとして発生させる TCP の疑似データを 300Mbps に設定した。CM が受信できるビットレートは IP ヘッダなどを除いて 280Mbps 程度であり、理論的には保護されていない TCP のデータが 100Mbps 分欠損することになる。7.3.2 のとおり CMTS を設定し、計測器にて測定したところ想定通り TCP のデータが欠損し、UDP/RTP のパケットは全量受信できていることを確認した。

8.3.2 机上検討と実験結果の違い

8.1.2 と同様、測定の対象を BER から IP パケット損失率に変更した。

8.3.3 CN の計測と結果

本実験では、現在商用で提供されているケーブルテレビのネットワークによるインターネット接続サービスの通信方式として主流である DOCSIS 3.0 を対象とした。DOCSIS 3.0 仕様における端末（ケーブルモデム）の単一周波数チャンネル（6MHz）の下りストリーム受信処理性能は図 8-4 のとおりである。

6.3.3.2.1 256-QAM CM BER Performance	
Implementation loss of the CM MUST be such that the CM achieves a post-FEC BER less than or equal to 10^{-8} when operating at a carrier to noise ratio (E_s/N_0) as shown below. If it is not possible to measure post-FEC BER directly, Codeword Error Rate, R_C (as defined in Section 6.3.3.1.1) may be used. In this case, the CM MUST achieve a Codeword Error Rate of less than or equal to 9×10^{-7} when operating at a carrier to noise ratio (E_s/N_0), as shown in the following:	
Input Receive Signal Level	E_s/N_0
-6 dBmV to +15 dBmV	30 dB or greater
Less than -6 dBmV down to -15 dBmV	33 dB or greater
6.3.3.2.2 256-QAM Image Rejection Performance	
Performance as described in Section 6.3.3.2.1 MUST be met with an analog or a digital signal at +10 dBc in any portion of the RF band other than the adjacent channels.	
6.3.3.2.3 256-QAM Adjacent Channel Performance	
Performance as described in Section 6.3.3.2.1 MUST be met with an analog or a digital signal at 0 dBc in the adjacent channels.	
Performance as described in Section 6.3.3.2.1, with an additional 0.5 dB allowance, MUST be met with an analog signal at +10 dBc in the adjacent channels.	
Performance as described in Section 6.3.3.2.1, with an additional 1.0 dB allowance, MUST be met with a digital signal at +10 dBc in the adjacent channels.	

図 8-4 DOCSIS 3.0 下りストリーム (256QAM) の受信処理性能
(CM-SP-PHYv3.0-C01-171207 : 6.3.3.2)

特定の入力信号のレベルと CN 比の条件に対し誤り訂正後の BER が 10^{-8} 以下となることが受信性能として規定されている。また、伝送路符号化方式は ITU-T 勧告 J.83 Annex B を採用しており、RF 方式で採用している ITU-T 勧告 J.83 Annex C と同様に CN 比と BER との間に強い相関がある。そのため、入力信号の条件を変更することで誤り訂正後の BER を低減することが可能である。

DOCSIS 3.0 の 256QAM のときの下り伝送データレートは 1 周波数チャンネル (6MHz) で約 40Mbps であり、複数の周波数チャンネルを束ねて伝送帯域を大容量化することが可能である (チャンネルボンディング)。そこで本実験における物理層実験として、チャンネルボンディング時の端末の入力信号の CN 比と出力の IP パケット損失率の相関性を検証する。

本実験では 8 チャンネルを束ねて下り伝送容量を約 320Mbps とし、入力信号にホワイトノイズを印加して CN 比の変化に対する IP パケット損失率の測定を行った。

測定により得られた結果を表 8-4、図 8-5、表 8-5、図 8-6 に示す。なお、伝送した UDP ストリームのビットレートは 80Mbps と 12Mbps とし、下り伝送周波数は 450MHz~498MHz の連続した 8 チャンネル、CM の入力信号レベルは各チャンネルとも 6(dBmV)である。

表 8-4 80Mbps における CN 比と IP パケット損失率

CN 比(dB)	IP パケット損失率
28.70	<1.00E-07
28.60	2.03E-07
28.50	9.29E-07
28.40	1.16E-06
28.30	5.46E-06
28.20	2.16E-06
28.10	2.34E-06
28.00	1.02E-04
27.90	2.17E-04
27.50	1.29E-03
27.00	6.96E-02

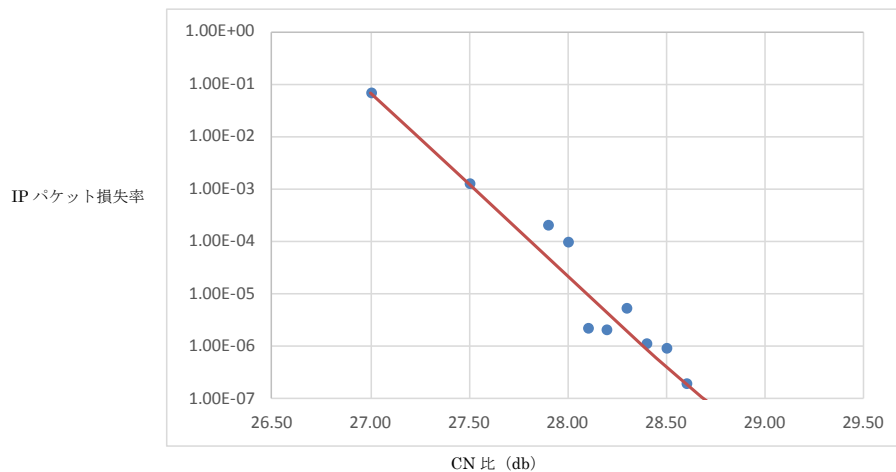


図 8-5 80Mbps における CN 比と IP パケット損失率の関係

表 8-5 12Mbps における CN 比と IP パケット損失率

CN 比(dB)	IP パケット損失率
28.60	<1.00E-07
28.30	3.62E-06
28.00	6.25E-06
27.80	6.08E-06
27.70	4.35E-05

27.60	3.52E-04
27.30	5.44E-03
27.00	4.47E-02

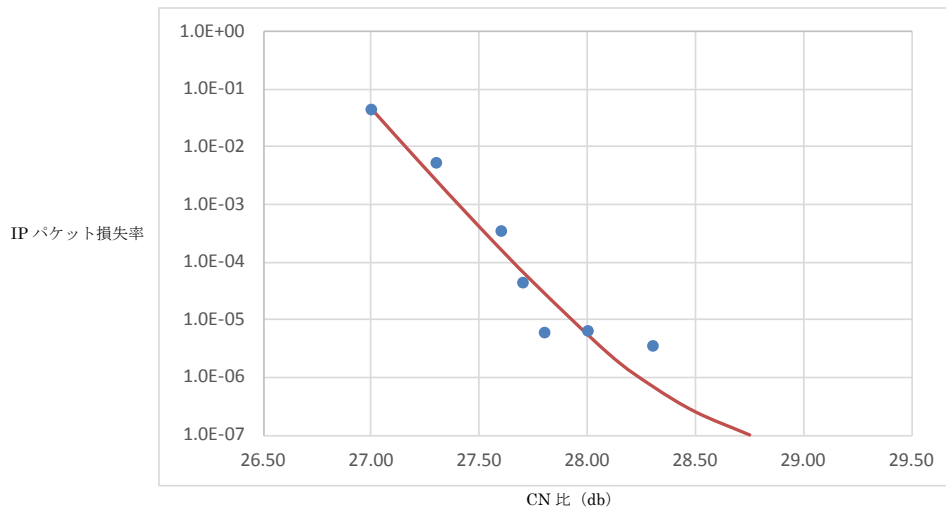


図 8-6 12Mbps における CN 比と IP パケット損失率の関係

得られた CN 比と IP パケット損失率との相関係数 $|R|$ を求めると、

$$80\text{Mbps} \quad |R| \cong 0.741$$

$$12\text{Mbps} \quad |R| \cong 0.744$$

であり、強い相関がみられる。したがって、IP パケット損失率は CN 比から推測可能であると考えられる。

IP 伝送路では、誤りを含む IP パケットを検知した箇所で破棄する。そのため、IP 伝送路の始点～終点における IP パケット損失には誤りにより破棄された IP パケットが含まれる。また、IP パケット化時に IP パケットとして整合性が担保されるため、IP パケット化処理の入力信号の誤りは IP 伝送路上の誤りとしてカウントされない。そのため、入力信号の誤りがそのまま受信機へ伝送され、HE 入力品質は IP 伝送路品質に影響しない。

FTTH と同様に 5.2 節から、本実験が目標とする IP パケット損失率は 1×10^{-7} 以下であり、DOCSIS 3.0 においては、図 8-5 と図 8-6 から 28.8(dB) 以上で満たしている。DOCSIS 3.0 仕様が受信処理性能の基準とする BER の 10^{-8} は 5.2 節の式から、

$$\text{PER} = 1 - (1 - 1 \times 10^{-8})^{(188 \times 8 \times 7)} \cong 1 \times 10^{-4}$$

であり、CN 比が 27.8(dB) 以上のときに満足する。したがって、DOCSIS3.0 の標準的な CN 比の基準に対し 1(dB) 程度の向上により目標とする IP パケット損失率

を満たすと考えられる。

このほか、IP マルチキャスト方式をサポートする DOCSIS 方式として DOCSIS 3.1 が存在する。DOCSIS 3.1 の伝送路符号化方式は、DOCSIS 3.0 が採用する ITU-T 勧告 J.83 Annex B のチャンネルボンディングのほかに、OFDM によるブロック単位（最大 192MHz）構成が可能となっている。OFDM では FEC 方式として LDPC + BCH を採用しており、CN 比と BER との関係は本実験と異なる特性を示す。ただし、その関係は連続的であり、CN 比の確保により BER を保証することが可能であることから、本実験の結果と同様に一定の CN 比を担保することで IP パケット損失率の基準を満たすことが可能である。

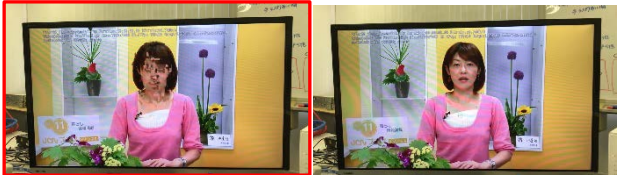
以上から、CMTS の入力 IP パケットの品質が担保されていれば、アクセス網伝送区間における品質は物理層の信号条件により担保可能である。本実験では 256QAM の入力信号レベルが 6(dBmV)のときの標準的な CN 比に対し 1(dB)程度の向上により満たすことを確認したが、実運用においては伝送信号条件と製品の処理性能を確認した上で適切な入力信号の CN 比を求めておくことが望ましい。また、DOCSIS 方式の伝送路符号化方式は複数規定されており、それぞれ受信処理性能が異なるため、利用する伝送路符号化方式で求められる CN 比を確認した上で運用する必要がある。

8.4 HFC の IP 層実験結果と見解

8.4.1 パケット損失の計測と結果

本実験ではリアルタイムエンコーダから送出された UDP/RTP のストリームを測定器のエミュレータによって 1×10^{-3} から 1×10^{-6} までの幅でパケットを欠損させ TS アナライザによって発生した MPEG-2 TS のコンプライアンス違反を観察したものと、 1×10^{-7} の値が得られるよう HFC の物理層で CN を変化させ、パケットを欠損させた状態の実験を行った。

物理的系が FTTH であれ HFC であれ、パケットが欠損する場合の MPEG-2 TS のコンプライアンスは同様の誤り内容で現象に違いはなかった。ここでは 1×10^{-7} の実験結果について記載する。

No.	ビット レート	誤り率	エラーの状態
1	80Mbps	1×10^{-7}	約 10 分～30 分ごとに Continuity_Count エラー  エラー検知時点の映像を見ると一瞬ブロックノイズが入ったように見えたが肉眼での認知は難しい

8.4.2 パケット遅延と揺らぎの計測と結果

本実験ではリアルタイムエンコーダから送出された UDP/RTP のストリームを測定器のエミュレータによって定量的な遅延を発生させることと、遅延量を変化させて揺らぎの状態を生成することで、ネットワーク上で発生しえるパケットの状態が映像に与える影響を測定し映像を観察した。ただし、実験結果は 8.2.2 の FTTH の実験結果と同様であり、経路による違いは生じなかった。

8.5 アクセス網における優先制御の考え方

7.3.1 及び 7.3.2 で記述したとおり、今回の実験においては FTTH、HFC それぞれのアクセス網において、適切な優先制御(QoS)を IP 放送で使用するマルチキャストストリームのみに適用し、想定通りに IP 放送のマルチキャストストリームが負荷ストリームに優先して伝送されることが確認できた。

HFC アクセス網(DOCSIS)の場合はデジタル放送と同様に、IP 放送専用の QAM 搬送波を設定することで QoS を適用せずに IP 放送を提供することも可能であるが、FTTH の場合や DOCSIS でもデータ通信と伝送帯域を共有して IP 放送を実施する場合、アクセス網において IP 放送提供に必要な品質を担保するための優先制御を適用する必要がある。

HFC に関しては 7.3.2 で記述のとおり、DOCSIS3.0/3.1 においてはマルチキャストに対する QoS が仕様として定義されており、CMTS、CM ともにその仕様を実装することが必須であるため、機種の違いによる実装の違いは生じないと思われるが、FTTH においては機種によって実装方法が異なる可能性があるため、必要な機能が実装されているかどうかの確認を行う必要があると思われる。

また、今回の実験内容には含まれていないが、優先制御 (QoS) 以外に検討すべ

きアクセス網における問題として、アクセス網の伝送可能帯域を超えるマルチキャストストリームに対する対応を考える必要がある。

一般的にはアドミッション・コントロールと呼ばれるもので、アクセス網で伝送可能な帯域を超えたマルチキャスト視聴のリクエストがあった場合にそれを制限するものである。

予め配信するマルチキャストストリームの総帯域をアクセス網の帯域幅以内に制限する場合は必要ないが、CH 数が多数となりそのような管理が困難である場合には、アドミッション・コントロールの適用が必要と思われる。

8.6 パケット遅延と揺らぎが映像に与える影響

8.6.1 パケット遅延

遅延時間の測定はパケットに付与されているタイムスタンプを利用する方法もあるが、送信側と受信側で厳密に時刻を同期させるか、受信側から送信側にもタイムスタンプに関する情報を送信するなどの方法が必要となり、容易に測定することはできない。

今回の実験では遅延に対する映像への影響を確認することが目的のため、遅延時間の測定には映像信号の時間差を測定する装置を用いて以下の構成で計測を行った。

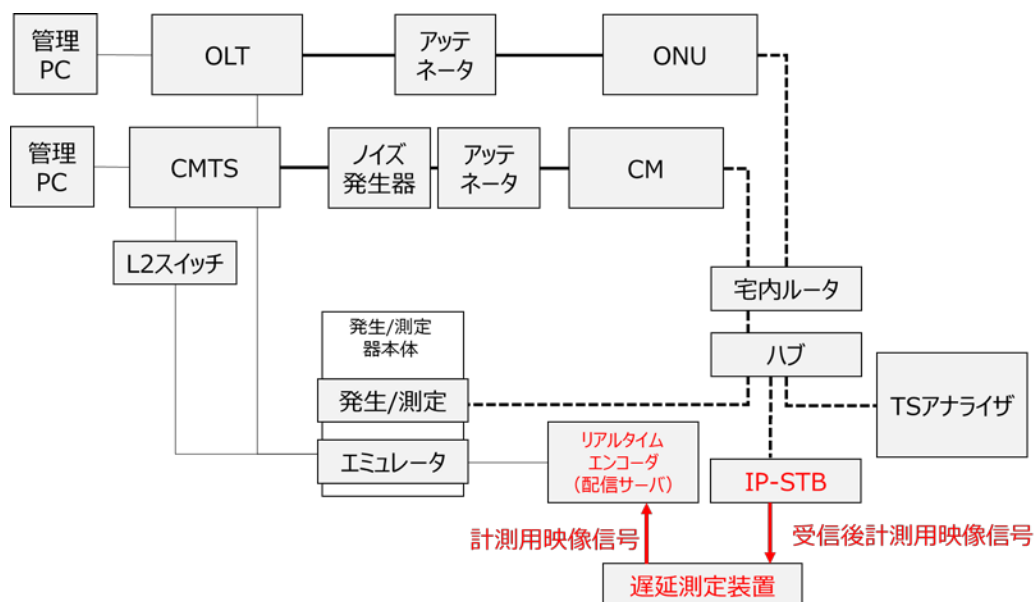


図 8-7 パケット遅延計測環境

遅延測定装置から出力した計測用映像信号をリアルタイムエンコーダで符号化して発生させた 80Mbps のストリームがエミュレータで中継され、FTTH/HFC 網を経由して宅内環境に設置した IP-STB で受信する。そして IP-STB で復号した受

信後映像信号を遅延測定装置に入力して、映像の時間差を測定することにより遅延を計測した。

エミュレータで遅延を付加しない場合、測定器で計測した遅延は 1.6 秒であった。この値はエンコード遅延、ネットワーク伝送遅延、IP-STB の受信・デコード遅延を合計した値である。

次にエミュレータで 500msec の一定の遅延を付加したストリームを IP-STB で再生したところ、計測器で測定した遅延も 2.1 秒となった。IP-STB はネットワーク伝送遅延を意識せず、受信したストリームを遅延がないストリームと同様に再生処理するだけであった。左記の結果から、伝送区間中で発生する一定の遅延量については、IP-STB の動作には影響がないことが確認できた。

8.6.2 パケット遅延揺らぎ

パケット遅延揺らぎ（ジッタ）の測定は机上検討段階では測定器を利用する想定だったが、実際の測定に即した方法を同時に検討すべく、図 8-9 のような測定用ラップトップ PC で行った。本実験ではパケットに付与されているタイムスタンプを利用する方法でパケット遅延揺らぎを測定している。RTP プロトコルを規定している RFC 3550 ではジッタの算出方法について以下のように記載されている。

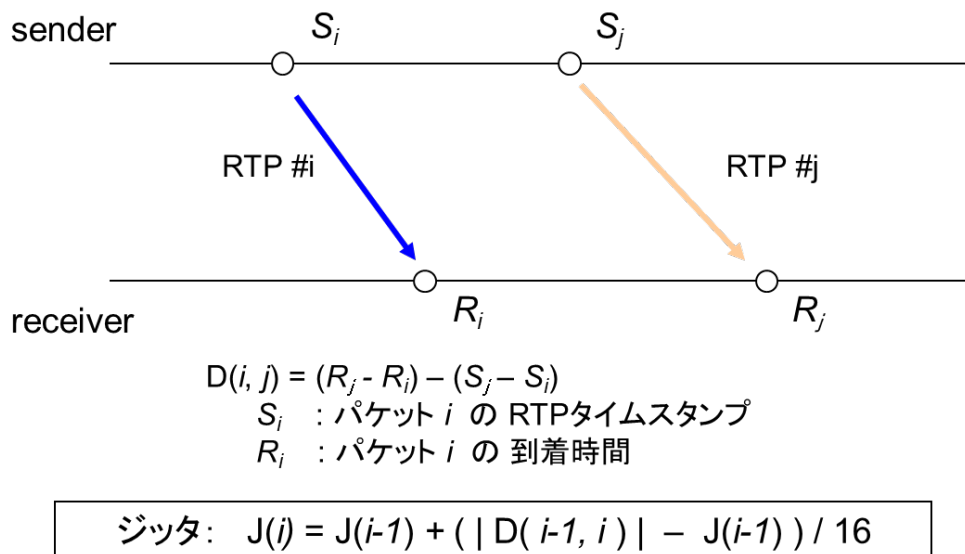
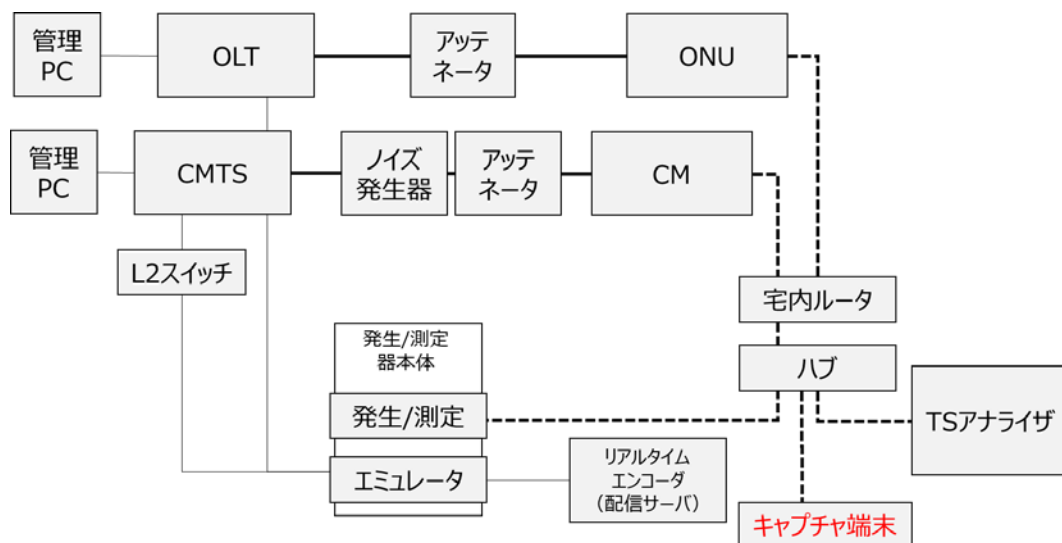


図 8-8 ジッタの算出方法

今回の実験では以下の構成で実験を行った。



実験に使用したリアルタイムエンコーダはパケットの送出時刻に合わせて RTP のタイムスタンプを正確に付与しているためジッタの算出に適しているが、規格によっては RTP のタイムスタンプの付与方法が異なるためジッタ測定時に使用するストリームには注意が必要である。

また、キャプチャ端末としては汎用 PC とオープンソースのソフトウェアによる簡易な構成を用いたが、PC の能力や稼働状況、ソフトウェアの性能によって、測定結果に影響がでることも注意が必要である。

実験では最初に揺らぎを付加しない状況でのジッタを確認するため、エミュレータで遅延を付加せずストリームを中継し、キャプチャ端末で算出したジッタとパケット間差分の最大値 D_{max} は以下の結果であった。

	FTTH		HFC	
最大遅延幅	ジッタ	D_{max}	ジッタ	D_{max}
なし	0.03msec	0.28	0.42msec	4.82

FTTH/HFC とともにジッタは 1msec 以下の非常に小さい値で、実験で構築したネットワークではほとんど揺らぎがないことが確認できた。

次にエミュレータで最大 100~500msec の遅延量を徐々に変化させることで揺らぎを発生させたとき、キャプチャ端末で測定したジッタは以下の結果であった。

	FTTH		HFC	
最大遅延幅	ジッタ	D_{max}	ジッタ	D_{max}
100msec	0.59msec	4.22	0.53msec	4.88
150msec	0.50msec	4.80	2.30msec(※)	24.31
200msec	1.92msec	6.30	0.74msec	6.33
300msec	0.86msec	6.39	0.89msec	6.33
500msec	3.63msec	10.38	1.37msec	10.40

※ キャプチャ端末で起動中の別アプリケーションの影響でパケットの取りこぼしがあり、計測誤差が大きくなったと思われる。

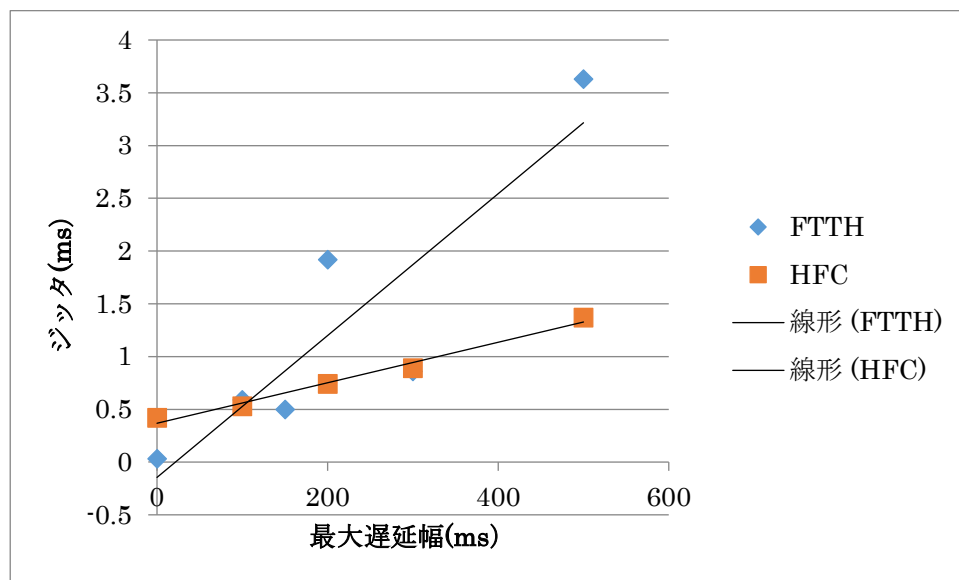


図 8-10 最大遅延幅とジッタの関係

最大遅延幅が大きくなるほどジッタの値も大きくなる傾向は見られたが、付加した遅延幅と比較してかなり小さなジッタ値が算出された。これはエミュレータが徐々に遅延量を変化させたため、RFC 3550 で規定されている計算方法のパケット間差分が小さく、その統計的な加算結果をもとにジッタを算出しているためと考えられる。

また、FTTH に対して HFC の方が小さなジッタ値が観測されたのは、HFC 区間の上限ビットレートを 200Mbps に設定していたことが関係している可能性がある。揺らぎを付加したことによりトラフィックにバーストが発生するが、下図のように 80Mbps のストリームが瞬間的に 2.5 倍の 200Mbps 程度のビットレートとなることもあり、ビットレートを制限するキューで一時的な滞留が発生し、揺らぎが平滑化されたのではないかと考えられる。実際に当初 HFC 区間の上限ビットレートを 100Mbps に設定した際は、バーストトラフィックをキューで吸収すること

ができず伝送区間内でパケットが廃棄され、受信側でもパケット損失が検出された。

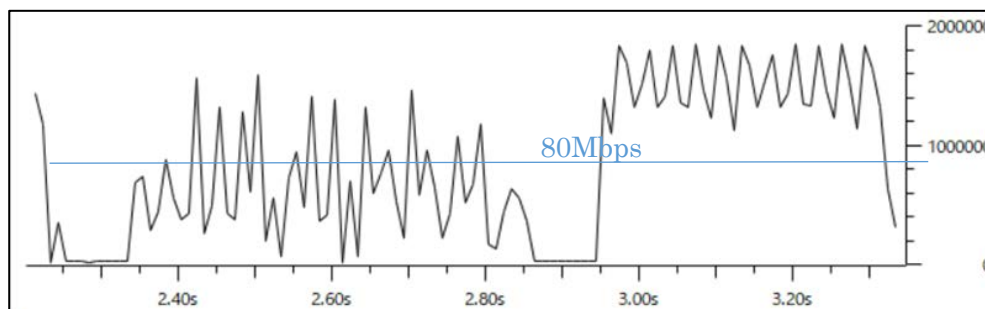


図 8-11 HFC で 500msec の遅延変動を付加した際の受信ストリームの変動

以上の結果から、伝送区間のキューイング処理によって、揺らぎが変動したりパケット廃棄が発生したりする可能性があるため、伝送するビットストリームにあわせた帯域設計と機器の設定が必要となる。

実際にジッタを付加した際の映像への影響については、使用した IP-STB は揺らぎを吸収可能なだけのバッファを有していたと思われるため、映像品質には特に影響はなかった。なお、バッファ制御を含めた再生の挙動については IP-STB の商品企画・仕様によるため詳細については不明である。

一方、使用した TS アナライザは揺らぎを吸収せず、到着した RTP パケットから TS パケットを取得し ASI(Asynchronous Serial Interface)で TS 解析部に送信して TS 解析処理を行う動作のため、PCR(Program Clock Reference)や PMT(Program Map Table)エラー等が検出されていた。PCR や PMT の到着間隔や単位時間当たりの挿入頻度が揺らぎにより規定の範囲外と判断されたためと考えられる。

上記の結果より、IP-STB が揺らぎを吸収するバッファを有していれば、映像品質には影響がないことは分かったが、ネットワークでの揺らぎと測定したジッタ値との関係性を導くことはできなかった。

今回の検証では RFC 3550 の RTP プロトコルに従って RTP のタイムスタンプを使用したジッタの算出を行ったが、RTP のタイムスタンプについては伝送するメディアストリームの形式や、各種サービスの運用仕様によって異なる使用方法が規定されている。

実際のサービスで使用されている例として、IPTV フォーラムや日本ケーブルラボの IP 放送仕様では RTP タイムスタンプについては以下のように規定されている。

- タイムスタンプは、RTP データパケットの最初のオクテットのサンプルを取得した時刻を表す
- 送信運用規定：基本的には 90kHz で運用する。ただし、本値は厳密に運用しなくてもよい。

上記の仕様では RTP タイムスタンプには基本的にはパケットを送出した時間ではなく、サンプルを取得した時間すなわちフレームの時間から算出した値が付与されている。このため、データ量が多いイントラフレームやビットレートが高いストリームの場合、1つのフレームが複数の RTP パケットに分割して送信され、同一の RTP タイムスタンプが付与された RTP パケットが連続して伝送されることになる。

このようなパケットでは送出時間と RTP タイムスタンプ自体に揺らぎが含まれているため、正しくネットワークのジッタを測定することは困難である。ネットワークのジッタを測定するためには、測定用の専用ストリームを別途伝送して計測する必要があると考えられる。

また、ビットレートに変動のない CBR ストリームを想定した場合は、パケットの送出間隔、到着間隔が一定で揺らぎがない伝送環境が理想的ではあるが、ビットレートに変動がある VBR ストリームではパケットの送出間隔は一定ではなく、揺らぎの要因が伝送方式・仕様に起因するものか、伝送環境に起因するものか判断ができない場合もあると思われる。

8.7 パケットの揺らぎと STB のバッファ量

ここでは、パケットの揺らぎが STB に与えるバッファ量の変化の影響について説明する。パケットの揺らぎはネットワーク上に流れる他のパケットの増減による影響や経路変更による影響など起こりうると考えられる。

8.7.1 想定するパケット揺らぎのパターン

以下に想定できるパケット揺らぎのパターンを図示し、揺らぎ発生時の STB へのパケットの届き方を説明する。通常、IP 放送のパケット群 (UDP/IP ストリーム) は一定の間隔で送信されることを想定するが、揺らぎが起こると一定の送信間隔が崩れ、パケットの間隔が広がったり短くなったりする。

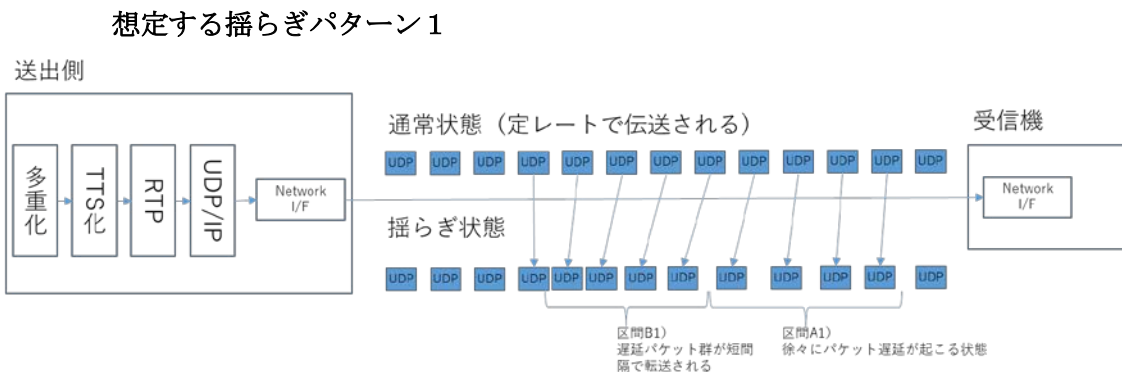


図 8-12 想定する揺らぎパターン 1

本パターンでは、パケットの送信間隔が徐々に広がって、その広がりが全体的に積み重なって大きな遅延（区間 A1）になり、その後、徐々にパケットの送信間隔が短くなっていった（区間 B1）一定の送信間隔に戻るパターンである。

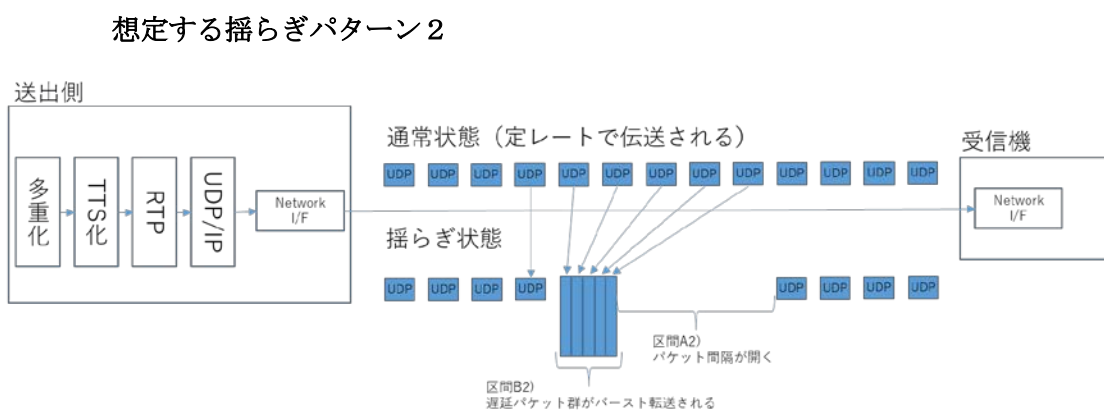


図 8-13 想定する遅延パターン 2

本パターンでは、一定間隔で送信されていたパケットが突然受信側に届かなくなり（区間 A2）、その後、届かなくなっていたパケット群が突然、短間隔でバースト的に大量に流れ込んでくる（区間 B2）パターンである。

8.7.2 IP 放送対応受信機の構成

下図 8-14 に IP 放送対応受信機の構成例を示す。

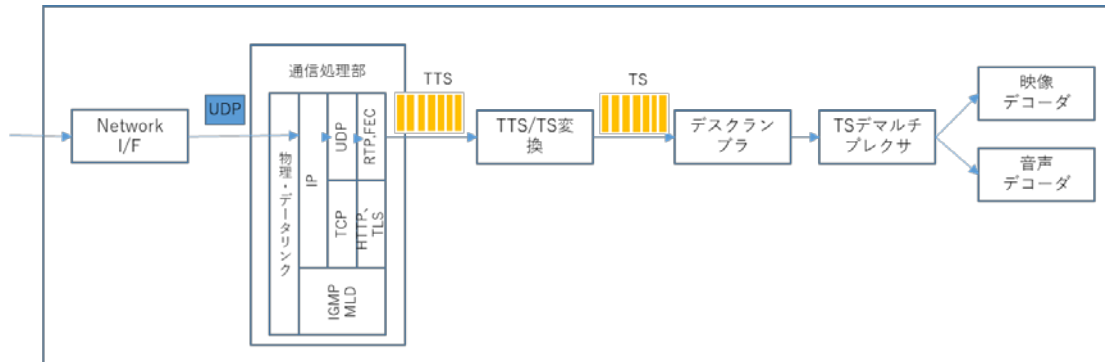


図 8-14 IP 放送受信機の構成例

受信機が IP 放送用の UDP/IP ストリームを受信してからデコードするまでの流れを説明する。IP 放送対応受信機は、ネットワーク I/F で UDP/IP ストリームを受信し、通信処理部に UDP/IP パケット単位で渡す。通信処理部は、受信した UDP/IP パケットから RTP パケットを取り出し、そこから TTS パケット群を取り出し、後段の TTS/TS 変換部へ出力する。TTS/TS 変換部は、TTS のタイムスタンプを参照しながら、適切なタイミングで TS 化を行って後段のデスクランブラへ出力する。デスクランブラは既定の限定受信方式に対応した暗号復号処理を行い TS デマルチプレクサに暗号復号後の TS パケットを出力する。TS デマルチプレクサは TS のデコードタイミングに合わせて映像デコーダ、・音声デコーダにデータを出力して映像・音声の出画を実現する。

このような構成において、前述のパケットの揺らぎを吸収するために、受信機にはバッファを設ける必要がある。バッファを設けるブロックは受信機商品企画matterであるが、一般的に TTS/TS 変換処理部以降の TS 出力に揺らぎの影響を与えないようにバッファが構成される。

8.7.3 パケットの揺らぎと受信機のバッファ使用量の関係

ここではパケットの揺らぎが発生したときの、受信機のバッファに対する影響について説明する。

図 8-15 は受信機が IP 放送のパケットを受信しているときのバッファ使用量の変化について模擬的に示した例である。

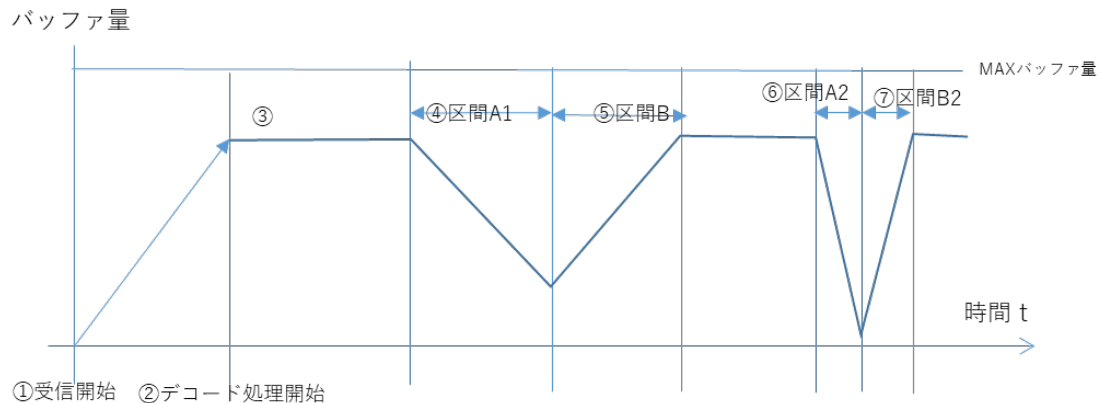


図 8-15 IP 放送受信時のバッファ使用量変化の例

受信機は IP 放送用のパケットの受信を開始すると (①)、バッファにある程度データを蓄積してからデコード処理を開始する (②)。その後、ネットワークが安定しており、一定の転送量で IP 放送用のパケットが受信できれば、受信するデータ量とデコードするデータ量が均衡し、バッファ使用量が安定する (③)。

ネットワーク上に揺らぎが発生すると、受信するデータ量とデコードするデータ量の均衡が破れ、バッファ使用量が減少する。例えば、前述の想定する揺らぎパターン 1 が起こると、パケットが遅延して到着するため、バッファの消費スピードに追いつかなくなり、受信機内のバッファ使用量が徐々に減少する (④区間 A1)。その後、遅延が解消すると、遅延していた分のパケットが定常よりも早い間隔で転送されるため、バッファ使用量が回復し (⑤区間 B1)、バッファ使用量が安定する。

また、前述の想定する揺らぎパターン 2 の場合は急激にバッファ使用量の増減が発生する。IP 放送用のパケットが全く受信できない区間においては、バッファ内のデータ消費のみが発生し (⑥区間 A2)、その後バースト的にデータ送信され、バッファ使用量が急激に回復する。

この例は、パケット到達の揺らぎを想定して受信機内にバッファとして十分にデータを蓄積しているため実現可能な動作である。

一方、揺らぎを十分に考慮せずにバッファ量を設計すると、前述の揺らぎパターン 1、2 でそれぞれ問題が発生する。図 8-16 に問題が発生する場合のバッファ使用量の変化の例を示す。

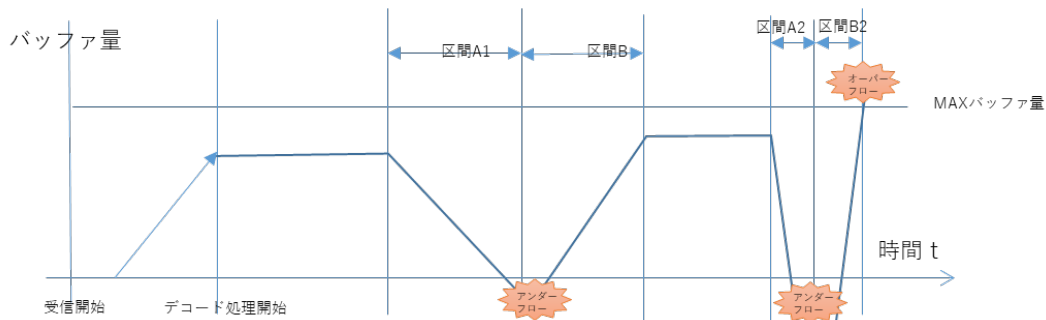


図 8-16 揺らぎを十分に考慮していない IP 放送受信時のバッファ使用量変化の例

問題が発生する場合の一つはバッファアンダーフローである。IP 放送用のパケットの受信開始後、データをバッファに十分に蓄積せずにデコード処理を開始した場合、揺らぎが起こって、データの受信量がバッファの消費量よりも少なくなる状態が継続すると、バッファにあるデータが枯渇したタイミングでバッファアンダーフローが発生（区間 A1, A2）し、出画ができなくなってしまう。

もう一つはバッファオーバーフローである。受信機側で十分なバッファ量を確保していない場合、例えばバースト的にデータが流れてきたとき（区間 B2）に受信したデータをバッファに蓄積できなくなり、バッファオーバーフローが発生し、正常な出画ができなくなってしまう。

このように、受信機のバッファはネットワーク等により生じるデータの到着時間の揺らぎの影響を吸収するうえで重要な役割を果たしている。ただし、バッファはメモリにより構成されているため、バッファ量を大きくすれば受信機コストが上昇することに留意が必要である。更に図 8-15、図 8-16 示したようにバッファ処理を行うことにより、IP 放送用のパケットの受信を開始してから実際にデコードするまでに時間を要することになるため、出画の遅延の要因にもなる。

このように、揺らぎへの対処はコスト上昇、出画遅延と直接関連しているため、システム全体として許容できる揺らぎ幅の規定は必要となる。

8.8 パケット損失率が映像に与える影響

8.8.1 パケット損失率と主観画質について

本実験において、IP パケット損失率 $1 \times 10^{-2} \sim 1 \times 10^{-4}$ では映像視聴に問題があった。例えば、まれにしか映像が動かない動作や、フリーズ動作などが頻繁に発生するなどである。一方で、IP パケット損失率が 1×10^{-5} 程度であれば映像視聴自体は可能であった。ただし、動きのないシーンでフリーズ動作と見分けが付かなかった、落ち着いて映像視聴をすると不快になる可能性があることは否定できない。以下では、より定性的な考察を試みる。

8.8.2 パケット損失が映像に与える影響

圧縮映像のエレメンタリーストリーム、すなわち広義のヌルパケットや SI 情報を除く、復号に必須となるビットストリーム（バイトストリーム）において、1bit でも誤りがあると、少なくとも当該フレームの復号は出来ず、さらに当該フレームが参照フレーム（復号順で後続のフレームから参照されるフレームのこと）であれば、後続のフレームも復号できない。最も影響が大きい場合は、I フレームが復号できない場合であり、次の I フレームまでは復号が出来ない。反対に、最も影響が少ない場合は、非参照フレーム（B フレームなど）が復号できない場合であり、当該フレームのみが復号できない。ここでは、復号できない、またはフレーム途中までの復号などを含めて、映像が乱れると表現するが、かならずしも映像が破綻することを意味しない。例えば、映像をフリーズさせておけば主観的な影響は一定程度抑えられる。なお、多くのデコーダでは、可能な限り復号を継続し、また誤り隠蔽技術により主観画質への影響を抑制する処理が含まれている。これは商品企画に分類されるものであり、ここでは扱わない。

一般に I フレーム間隔はチャンネル切り替えが可能なタイミングと符号化効率のトレードオフとして考慮される。その結果、ARIB 規格では 0.5 秒～1.0 秒程度の間隔で I フレームを挿入することを求めている。ただし、実運用上は 2.0 秒程度でも問題ない場合がある。ビット誤りやパケット損失が生じると、最大で I フレーム間隔時間は映像が乱れることになる。

次に、1つの IP パケットに 7つの TS パケットが含まれている場合に、IP パケットに含まれるフレーム数を考察する。そのためには、符号化構造（いわゆる GOP 構造）の仮定が必要である。具体的には、4K UHD 放送（59.94P）、30Mbps を対象に、I フレーム間隔は 0.5 秒程度（59.94fps において 32 枚間隔）、階層 B 構造とする。この場合、イントラフレーム間隔の間に到達する符号量は約 16Mbits となり、イントラフレーム間隔で消費される符号量のうち、I フレーム、I フレーム以外の参照フレーム、非参照フレームが占める割合をそれぞれ 40%、35%、15%とする。すなわち、最も符号量の少ないフレームは非参照フレームであり、約 1%に対応する 160kbits≈15TS となる。ここから、1bit 誤りにより TS パケットが 1 個失われても、1 IP パケット損失により TS パケットが 7 個連続で失われても、対応するフレームはほぼ 1 フレームに限定されることが分かる。また、当該フレームが非参照フレームであった場合も、影響を受ける後続フレーム数には 1bit 誤りでも 1 IP パケット損失でも関係ない。

HD 放送（59.94i）を対象として考えた場合、より低ビットレートとなるため、1bit 誤りよりも 1 IP パケット損失により復号できないフレーム数は増加すると考えられる。ただし、1 IP パケットに複数フレームが含まれるのは依然として非参照フレームである可能性が高く、復号できないフレーム数は限定的である。また、

参照フレームであれば、1bit 誤りか 1 IP パケット損失かによらず、復号できないフレーム数は同じである。したがって、主観的に知覚でき、かつその継続時間の長さには大きな差があるとはいえない。

8.9 パケット損失と FEC

パケット損失による再生映像品質の影響を低減させるために、アプリケーションレイヤの前方誤り訂正 (Forward Error Correction; FEC) を適用することができる。リニア映像配信におけるアプリケーションレイヤの FEC の一例として、本稿では Pro-MPEG FEC COP3 を取り上げ、当該 FEC によるパケット損失率の低減を具体的に報告する。なお、ここでは伝送路に適用する FEC については検討の対象外とする。

8.9.1 Pro-MPEG FEC COP3

Pro-MPEG FEC COP3 は、 $L \times D$ 個の RTP パケットを 2 次元に配置し、D 方向に各パケットに対する XOR 演算を適用して FEC パケットを得る 1D FEC と、D 方向と L 方向にそれぞれ FEC パケットを得る 2D FEC とがある。 $L \times D$ の選択は自由であるが、以下の制約がある。

$$\begin{aligned} L \times D &\leq 100, \\ 1 &\leq L \leq 20, \\ 4 &\leq D \leq 20. \end{aligned}$$

IPTV フォーラムでは、より具体的な組み合わせとして 1D FEC $L \times D=10 \times 10$ 、1D FEC $L \times D=20 \times 5$ 、2D FEC $L \times D=10 \times 10$ 、2D FEC $L \times D=20 \times 5$ が規定されている。

以下では、各パケットの損失する確率は一定であり (定常性)、かつ過去のパケットとは無関係である (独立性) と仮定する。バースト性の損失は、その連続パケット損失数が L よりも十分小さければ、2 次元に配置するときに D 方向に対しては無関係なパケット損失と見なせる。

8.9.2 Pro-MPEG 1D FEC

1D FEC は D 方向に 1 パケットまでの損失を修復可能である。ここでは、FEC 前 IP パケット損失率と、FEC 後 IP パケット損失率の関係を考察する。なお、議論を簡素化するため、 $L \times D=10 \times 10$ と $L \times D=20 \times 5$ の 2 種類に限定する。また、IP パケット損失率は FEC バッファサイズ (100 パケット) に比べて十分小さいため、発生頻度は二項分布に従うと仮定する。

ここで、1D FEC は D 個のパケットのうち、パケットがたかだか 1 個の訂正 (回復) が可能である。したがって、FEC バッファ (100 パケット) 全てが利用可能

となる確率は以下で求められる。

$$P_{1D}(IPLR) = (1 - IPLR)^{(L*D)} + D(1 - IPLR)^{L*D-1}IPLR$$

ここで、パケット損失率(IPLR: IP packet Loss Ratio)を 1×10^{-4} 、 $L*D=10*10$ のとき、 $P_{1D=10}(1 \times 10^{-4}) = 1.0 - 4.5 \times 10^{-7}$ となる。ただし、実際にはパケットが 2 個以上損失している場合であっても、FEC バッファ内に存在する損失していないパケットは有効である。そこで、パケット単位での利用可能な確率は以下で求められる。

$$\begin{aligned} P'_{1D}(IPLR) &= (1 - IPLR)^D + D(1 - IPLR)^{D-1}IPLR \\ &\quad + \sum_{n=2}^D C_n^D (1 - IPLR)^{D-n}(IPLR)^n \frac{D-n}{D} \\ &= 1 - \sum_{n=2}^D C_n^D (1 - IPLR)^{D-n}(IPLR)^n \frac{n}{D} \end{aligned}$$

ここで、 C_n^D は二項分布係数であり、D 個のパケットから n 個のパケットが損失した場合の位置の組み合わせ数を表す。再び IPLR を 1×10^{-4} 、 $L*D=10*10$ とすると、 $P'_{1D=10}(1 \times 10^{-4}) = 1.0 - 9.0 \times 10^{-8}$ となる。すなわち、 $L*D=10*10$ の 1D FEC は、 $IPLR = 1 \times 10^{-4}$ において $9.0 \times 10^{-4} \approx 1 \times 10^{-3}$ の訂正能力があるといえる。なお、FEC の訂正能力は IP パケット損失率 IPLR に依存するため、注意されたい。

ここまでの考察をまとめ、IPLR を変数として FEC 前と FEC 後の関係を $D=5, 10$ について計算すると、図 8-17 のようになる。

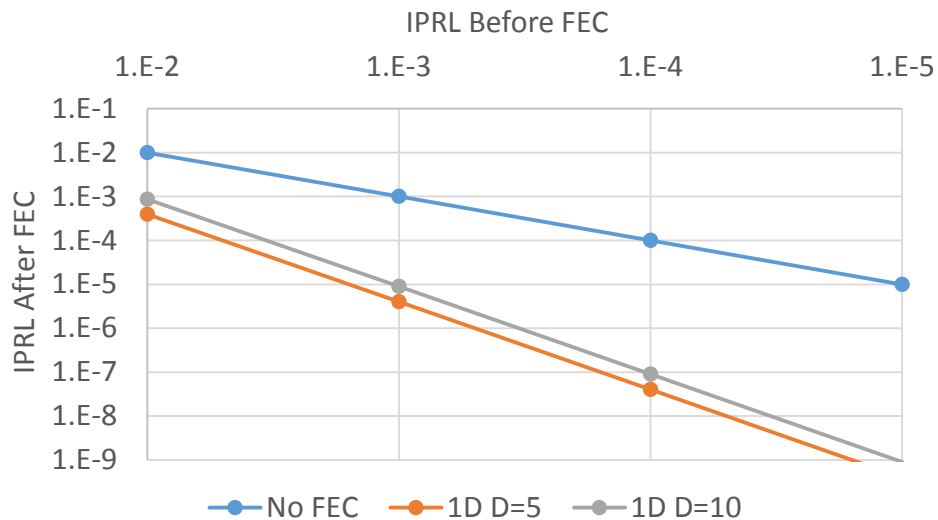


図 8-17 1D FEC による IP パケット損失率の関係。

8.9.3 Pro-MPEG 2D FEC

2D FEC は $L \times D$ 個の FEC バッファに含まれるパケットのうち、パケットがたかだか 3 個の損失に対しては必ず復元可能である。1D FEC と同様に n 個のパケット損失に対して復元できる損失パターンを数え上げると原理的には陽に利用可能なパケットの確率を導出できる。しかしながら、1D FEC と異なり一般化が難しく、さらに 1 つの FEC バッファ内で複数のパケットが損失する可能性は十分に低い ($1 \times 10^{-9} \sim 1 \times 10^{-12}$) ため、パケットがたかだか 4 個損失された場合を数え上げ、5 個以上損失した場合には復元できないと仮定する。なお、すでに 1D FEC で示したように、 1×10^{-4} 以下のパケット損失率であれば、 $D=5, 10$ のいずれにおいても FEC 後パケット損失率は 1×10^{-7} を実現可能である。したがって、ここでは、 1×10^{-3} 程度の FEC 前パケット損失率であっても、2D FEC によって 1×10^{-7} 程度にパケット損失率を下げられることを示す。

ここで、2D-FEC は $L \times D$ 個のパケットのうち、パケットがたかだか 3 個の訂正（回復）が可能であり、4 個が損失した場合、 $L \times D$ 個のパケットに散らばっていれば同様に訂正（回復）が可能である。訂正不可の場合は、 D 方向と L 方向とに同時に 2 個のパケットが損失する場合のみである。すなわち、 $C_4^{L \times D}$ パターンのうち、 $C_2^L C_2^D$ 個は復元が出来ない。さらに、簡便のためにパケットが 5 個以上損失した場合は FEC バッファ全てが利用できないとし、パケットが利用可能となる確率は以下で求められる。

$$P_{2D}(IPLR, 4) = \sum_{n=0}^4 C_n^{L \times D} (1 - IPLR)^{L \times D - n} (IPLR)^n - \frac{L \times D - 4}{L \times D} C_2^L C_2^D (1 - IPLR)^{L \times D - 4} (IPLR)^4$$

ここで、 $IPLR=0.001$ のとき、 $P_{2D}(1 \times 10^{-3}, 4) = 1 - 7.1 \times 10^{-8}$ となる。すなわち、 $L \times D=10 \times 10$ の 2D FEC は、 $IPLR = 1 \times 10^{-3}$ において $7.1 \times 10^{-5} \approx 1 \times 10^{-4}$ の訂正能力があるといえる。なお、FEC の訂正能力は IP パケット損失率 $IPLR$ に依存するため、注意されたい。

ここまでの考察をまとめ、 $IPLR$ を変数として FEC 前と FEC 後の関係を $D=5, 10$ について計算すると、図 8-18 のようになる。なお、 $IPLR$ が高い場合には、 $D=5$ と $D=10$ とで訂正能力はほぼ同一となり、グラフの線は重なっている。

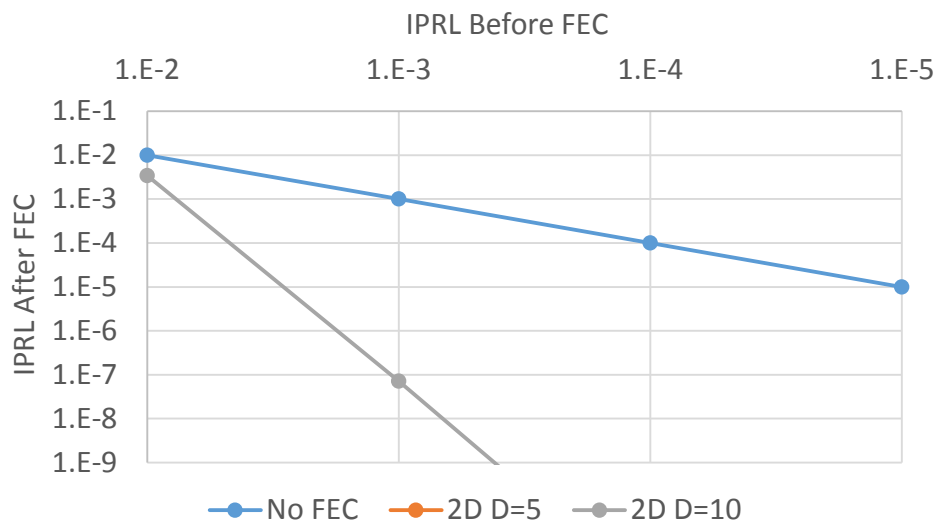


図 8-18 2D FEC によるパケット損失率の関係

8.10 測定方法についての考察

8.10.1 実験環境における測定

本実証実験では、図 7-1 の物理層実験環境にある信号発生器兼測定器（Anritsu データ クオリティ アナライザ MD1230B）によって物理層実験の数値を測定している。物理層実験における測定項目は以下のとおり。

- ・ 優先制御が正常に動作しているかを測るため試験用パケットの送信量と受信量
- ・ FTTH の受光パワー／HFC の CN 値変化によるパケット損失率の変化を測るため試験用パケットの送信量と受信量
- ・ 上記 2 項目におけるパケット損失量

また IP 層実験では図 7-2 の IP 層実験環境にある TS アナライザ（Tektronix MPEG アナライザ）によって MPEG-2 TS のコンプライアンス違反を測定している。

8.10.2 フィールドでの測定

フィールドでは、送信側と受信側が物理的・地理的に離れた位置にあるため、今回の実験環境と同様の測定は実施不可である。また必ずしも事業者で今回と同程度の測定器を利用可能とは限らない。以上を踏まえ本節ではフィールドの測定方法について考察を行う。

測定方法としては、試験パケットを利用するアクティブ計測とネットワークに流れる商用パケットを計測するパッシブ計測の 2 種類が利用可能である。アクテ

イブ計測については、試験パケット内にシーケンス番号や送信時のタイムスタンプを付与したストリームを利用する方法が考えられる。IPTV フォーラムや日本ケーブルラボの IP 放送仕様を含めて、IP マルチキャストで映像を伝送する場合に一般的には RTP プロトコルが使用されている。RTP プロトコルにはパケットの順番を表すシーケンス番号と、パケットの時刻を表すタイムスタンプがヘッダに含まれている。パッシブ計測では、この RTP ヘッダの情報を利用する方法が考えられる。

8.10.2.1 測定に関する時間と場所

測定するにあたっては、ネットワークを構築した後に終端装置を設置するフィールドで測定する方法と、HE 内に疑似フィールド環境を構築し、終端装置を設置して行う 2 つの方法が考えられる。測定の目的に応じて、フィールドで測定する方法、疑似フィールド環境を利用して測定する方法等のいずれかを適切に選択して実施することが望ましい。また、計測するタイミングについては、放送のトラヒックが優先制御されたネットワークであり、伝送帯域が十分に用意されていることが前提であるが、通信のトラフィックの時間的変動や地理的変動が極端に大きいことを踏まえ、放送の視聴状況等も勘案して、測定の時期、時間帯、場所等を適切に選定して、測定を実施する必要がある。

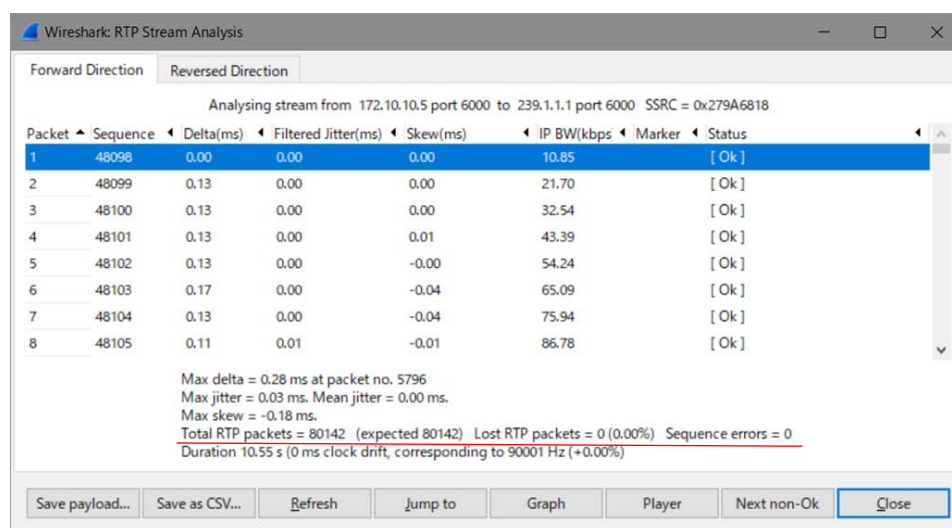
測定時間に関してはパケット損失率の測定であれば 7.4.2 にある BER の計測時間と同等の時間とすることが望ましい。これは、 $IPLR=1 \times 10^{-7}$ を BER に単純換算すると 1×10^{-11} であり、パケット損失率を計測するに当たっても測定時間は同等であると考えられるからである。なお、遅延及び遅延揺らぎについてはこの限りではないが、キャプチャしたデータから遅延揺らぎを求める場合はパケット損失率測定のために取得したキャプチャデータを流用して算出してもよいし、別途測定を行ってもよい。フィールドにおける測定か疑似フィールド環境による測定か等に応じて、適切な測定時間を検討する必要がある。

8.10.2.2 パケット損失率の測定

パケット損失率をアクティブ計測で測定する場合は、試験パケット内に損失を検知するためのシーケンス番号相当の情報を付与する必要がある。送信側装置は当該試験パケットをマルチキャストアドレスにてネットワーク側に等間隔で送信する。受信側装置は IGMP /MLD ジョイン(JOIN)によって該当試験パケットを受信し、パケット内のシーケンス番号の欠落から損失の有無を判断する。

一方、パッシブ計測を利用する場合は、RTP 等によって商用サービスのパケット内にシーケンス番号相当の情報が付与されている必要がある。受信側は、STB に

解析機能を具備したり、ネットワークタップ等を介してパケットを一般的な PC でキャプチャし、オフライン解析したりする。PC のパケットキャプチャツールとしては tcpdump や Wireshark などが有名である。図 8-19 はオープンソースのキャプチャソフト Wireshark でパケットをキャプチャ後、RTP ヘッダの解析を行った結果の一例である。



Wireshark: RTP Stream Analysis

Forward Direction Reversed Direction

Analysing stream from 172.10.10.5 port 6000 to 239.1.1.1 port 6000 SSRC = 0x279A6818

Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
1	48098	0.00	0.00	0.00	10.85		[Ok]
2	48099	0.13	0.00	0.00	21.70		[Ok]
3	48100	0.13	0.00	0.00	32.54		[Ok]
4	48101	0.13	0.00	0.01	43.39		[Ok]
5	48102	0.13	0.00	-0.00	54.24		[Ok]
6	48103	0.17	0.00	-0.04	65.09		[Ok]
7	48104	0.13	0.00	-0.04	75.94		[Ok]
8	48105	0.11	0.01	-0.01	86.78		[Ok]

Max delta = 0.28 ms at packet no. 5796
 Max jitter = 0.03 ms. Mean jitter = 0.00 ms.
 Max skew = -0.18 ms.
 Total RTP packets = 80142 (expected 80142) Lost RTP packets = 0 (0.00%) Sequence errors = 0
 Duration 10.55 s (0 ns clock drift, corresponding to 90001 Hz (+0.00%))

Save payload... Save as CSV... Refresh Jump to Graph Player Next non-Ok Close

図 8-19 RTP ヘッダ解析の一例

赤線で示した部分がパケット損失の解析結果で、上記の例では 80,142 個の RTP パケットを受信した際の損失は 0 個であったとわかる。

パケットキャプチャソフトは多機能で様々な解析を汎用 PC で行うことができるが、すべてのパケットを取得する必要があるため、パケットを保存する容量や同時に起動しているソフトウェアの影響などから、パケットの取りこぼしなどが発生しないように注意が必要である。また、キャプチャ時間が長くなればパケットデータが膨大になり、解析結果を得るのに多くの時間が必要になる場合がある。

一方、TS アナライザには RTP パケットをリアルタイムで解析して損失を検出する機能があり、パケットを保存しないため長時間の観測も負担なく行うことができる。ただ、今回の実験で使用した TS アナライザは多機能で信頼性も高いが、筐体が大きく可搬性がよいとは言えない装置である。

今回の実験ではパケットを受信しながら RTP ヘッダを解析する簡易なツールも併せてパケット損失の確認に使用した。使用したツールは Linux 上で動作する簡単なソフトウェアで、RTP のシーケンス番号に不連続が発生した場合に、欠落したシーケンス番号を出力する機能があり、今回の検証で使用した TS アナライザと同じパケット損失を検出できていることを確認している。このようなツールを可

搬性の高いラップトップや小型筐体で動作させることにより、容易にパケット損失をリアルタイムで測定することが可能になる。

8.10.2.3 遅延の測定

遅延値をアクティブで計測する場合、試験パケット内に送信時のタイムスタンプ付与が必要であるのに加えて、送信側装置と受信側装置の時刻同期が必要となる。送信者側で生成したパケットをマルチキャストアドレスにて送信し、受信装置側でパケット毎に付与されている送信時のタイムスタンプと受信者装置側での受信時刻の差分をそのパケットの遅延値として算出する。測定時間内の全てのパケットの平均を遅延値とする。

パッシブ計測でも基本的に送信側と受信側での時刻同期が必要になる。また、受信側から送信側に受信したことを報告するパケットを送る仕組みを利用する場合がある。RTP の規格では RTCP(RTP Control Protocol)による報告パケットで遅延量を確認する手段が規定されているが、マルチキャストでは RTCP を使用することは難しく、IPTV フォーラムの IP 放送仕様でも RTCP は使用しないと規定されている。

報告パケットを使用しない場合、受信側で受け取ったパケットがいつ送信されたのかを確認して、その時刻差分から遅延を算出することが可能であるが、送信側で測定対象のパケットを送出した時刻を記録し、送信側と時刻同期がとれた受信環境で測定対象のパケットを受信した時刻を記録する必要があり、受信側だけで簡易に測定することは困難である。

上述のとおり、厳密な片方向の遅延測定に関しては送信側装置と受信側装置の時刻同期が必要である。一方で GPS による時刻同期などがコスト面から実施困難であるケースも考慮して、ping などのユニキャストによる代替手法も検討が必要である。この場合、RTT(Round Trip Time)での測定となるため、実施結果を 1/2 倍にする。

実際に ping で測定する際には、

- ユニキャストの ICMP パケットのためマルチキャストの RTP パケットと異なる経路、優先キューで伝送される可能性がある
- 伝送区間の混雑状況の影響を受けた場合、測定結果に大幅な変動が含まれる可能性がある
- 伝送区間内に ICMP パケットを中継・応答しない機器が存在する可能性がある
- 上りと下りの伝送時間が異なる場合、単純に応答時間(RTT)の半分が伝送遅延とできない

等の注意が必要となる。

このような方法で遅延の測定は可能ではあるが、絶対的な遅延量については再生する映像品質には影響がなく、参考値としては把握しておいた方がよい情報と考えられる。

8.10.2.4 遅延揺らぎ（ジッタ）の測定

揺らぎも遅延の一種であることから、アクティブ計測、パッシブ計測ともに遅延測定と同等の測定が利用可能である。得られたパケット毎の遅延値をもとに遅延揺らぎの定義にしたがって、遅延揺らぎの値を算出する。この場合も送信側装置と受信側装置の時刻同期は必要である。アクティブ計測の場合は送信側で試験パケット内に送信時刻情報(タイムスタンプ)を付与して、受信側でタイムスタンプとパケット受信時刻の差分から遅延揺らぎを算出する方法となる。一方で遅延測定を時刻同期不要な代替手法で実施する場合を考慮し、遅延揺らぎについても代替手法の検討が必要と考える。例えば、アクティブ計測の場合、送信側装置から等間隔でパケットが送信されている前提のもとで、受信側でキャプチャしたパケット受信時刻の等間隔からの差分を遅延揺らぎとして測定する方法等が考えられる。

パッシブ計測では、RTP ヘッダ内のタイムスタンプと受信時刻の差分から算出可能である。しかしながら、本手法は RFC 3550 に従った RTP の送出に準拠していることが前提であり、送出側で付与するタイムスタンプ値が必ずしも測定に利用できる値とは限らない。

実際のサービスで利用されるストリームでは、各種仕様によって RTP タイムスタンプの付与方法は異なっており、送出時刻が付与されているとは限らないためである。次節では改めて揺らぎを定義するとともに、RTP を前提とした場合の測定方法についての具体的な記述を試みる。

8.10.2.5 遅延揺らぎの測定における揺らぎ値の定義

実験前の机上検討において遅延と揺らぎの定義は、揺らぎの平均量を遅延とし最悪値を揺らぎの値と定義した。また、実験中においては 8.6.2 に記載した値として RFC 3550 の計算式とそこから導き出される値を掲載した。WireShark で表示される Max Jitter もこの値であるが、この揺らぎ量は平均化された値であり、本実験が目的とする STB バッファ量の指標としては相応しいとは言えないことがわかった。本 EG では改めて揺らぎ量を導き出す式として ITU-T 勧告 Y.1541 (07/2016)の付録 II に規定されている IP 遅延変動 (IPDV : IP packet delay

variation) を採用することとして、IP 遅延変動の定義は以下の式で表される。

$$\text{IPDV} = \text{IPTDupper} - \text{IPTDmin}$$

ここで

- IPTDupper は評価期間における IPTD の $1-10^{-3}$ 分位点
- IPTDmin は評価期間における最小 IPTD

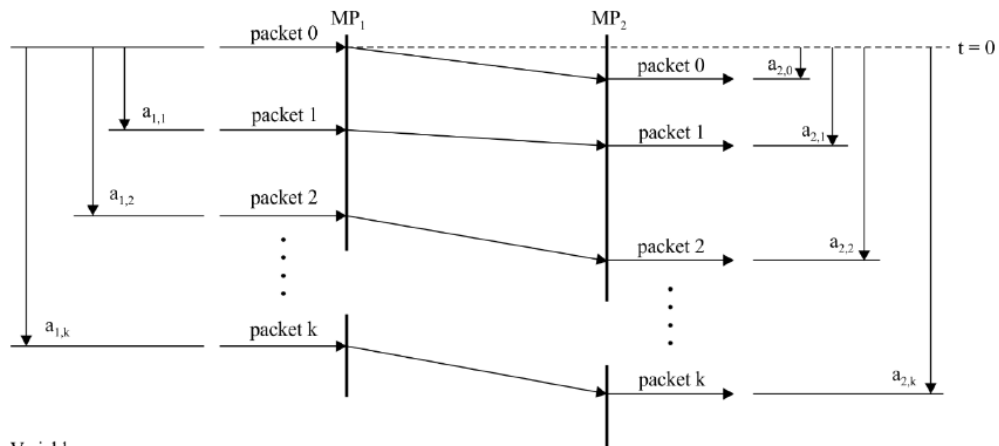
また、ITU-T 勧告 Y.1541 では IP 遅延変動について、ある短い測定期間中の最大 IPTD－最小 IPTD で定義してもよく、

$$\text{IPDV} = \text{IPTDmax} - \text{IPTDmin}$$

ここで

- IPTDmax は測定期間中に記録される最大 IPTD
- IPTDmin は測定期間中に記録される最小 IPTD

ここで IP パケット遅延 IPTD は ITU-T 勧告 Y.1540 (07/2016) にある 6.2.4 End-to-end 2-point IP packet delay variation (IPDV: IP packet delay variation) から算出する。この算出方法式は 2 点間の IP パケットの遅延を $V_k = X_k - d_{1,2}$ で求める。図 8-20 に転載した概念のとおり MP1 (送信側) と MP2 (受信側) の 2 点間でパケット 0 を基準点として、パケット 1 がそれぞれ $a_{1,1}$ と $a_{2,1}$ でそれぞれ時間情報を持ち、パケット k までの間どれだけ時間量に差異があるのかを導き出す。



Variables:

$a_{1,k}$ Packet k actual arrival time at MP₁

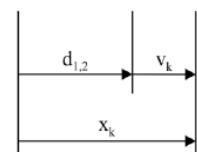
$a_{2,k}$ Packet k actual arrival time at MP₂

$d_{1,2}$ Absolute ref. packet transfer delay between MP₁ and MP₂

x_k Absolute packet k transfer time between MP₁ and MP₂

v_k 2-point packet delay variation value between MP₁ and MP₂

$$\begin{aligned} x_k &= a_{2,k} - a_{1,k} \\ v_k &= x_k - d_{1,2} \end{aligned}$$



Y.1540(16)_F09

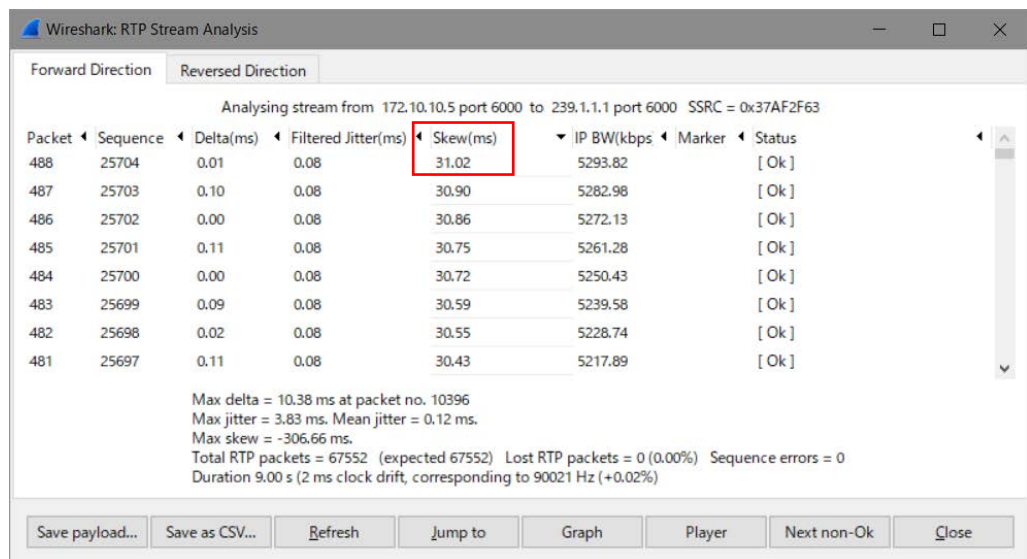
図 8-20 ITU-T Y.1540(16) F09 抜粋

8.10.2.6 遅延揺らぎの具体的測定方法

8.10.2.2 で紹介したパケット損失率を測定するための WireShark には Max Jitter を表示する機能があるが、これは RFC 3550 の計算方法を用いるため平均化されていることは前述のとおりだが、ITU-T 勧告 Y.1540 のパケット遅延変動値 (IPDV) V_k は WireShark の RTP 統計情報内で Skew 値に相当する。実験用テストストリーム 80Mbps を使用し 500msec の遅延量を挿入した場合の Skew の値を例に ITU-T 勧告 Y.1541 の IPDV の値を求めると以下ようになる。

$$\begin{aligned}
 \text{IPDV} &= \text{IPTD}_{\text{max}} - \text{IPTD}_{\text{min}} \\
 &= \text{PDV}_{\text{max}} - \text{PDV}_{\text{min}} \\
 &= \text{Skew}_{\text{max}} - \text{Skew}_{\text{min}} \\
 &= 31.02 - (-306.66) \\
 &= 337.68
 \end{aligned}$$

この値の様に実験中 337.68msec の振れ幅があったということが判る。なお、IPDV はパケットの 0 番を基準に数値化しているため最小値が負の数になる場合があるが、IPDV はあくまでも遅延揺らぎの量であり最大幅を数値化している。



Wireshark: RTP Stream Analysis

Forward Direction | Reversed Direction

Analysing stream from 172.10.10.5 port 6000 to 239.1.1.1 port 6000 SSRC = 0x37AF2F63

Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
488	25704	0.01	0.08	31.02	5293.82		[Ok]
487	25703	0.10	0.08	30.90	5282.98		[Ok]
486	25702	0.00	0.08	30.86	5272.13		[Ok]
485	25701	0.11	0.08	30.75	5261.28		[Ok]
484	25700	0.00	0.08	30.72	5250.43		[Ok]
483	25699	0.09	0.08	30.59	5239.58		[Ok]
482	25698	0.02	0.08	30.55	5228.74		[Ok]
481	25697	0.11	0.08	30.43	5217.89		[Ok]

Max delta = 10.38 ms at packet no. 10396
 Max jitter = 3.83 ms. Mean jitter = 0.12 ms.
 Max skew = -306.66 ms.
 Total RTP packets = 67552 (expected 67552) Lost RTP packets = 0 (0.00%) Sequence errors = 0
 Duration 9.00 s (2 ms clock drift, corresponding to 90021 Hz (+0.02%))

Save payload... Save as CSV... Refresh Jump to Graph Player Next non-Ok Close

図 8-21 WireShark の Skew を降順にソート

Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
3221	28437	5.13	3.73	-306.66	34941.41		[Ok]
3239	28455	0.20	1.19	-306.63	35136.67		[Ok]
3227	28443	0.19	2.55	-306.62	35006.50		[Ok]
3231	28447	0.19	1.97	-306.62	35049.89		[Ok]
3240	28456	0.12	1.12	-306.62	35147.52		[Ok]
3244	28460	0.14	0.87	-306.62	35190.91		[Ok]
3229	28445	0.13	2.24	-306.62	35028.19		[Ok]
3235	28451	0.19	1.53	-306.61	35093.28		[Ok]

Max delta = 10.38 ms at packet no. 10396
Max jitter = 3.83 ms. Mean jitter = 0.12 ms.
Max skew = -306.66 ms.
Total RTP packets = 67552 (expected 67552) Lost RTP packets = 0 (0.00%) Sequence errors = 0
Duration 9.00 s (2 ms clock drift, corresponding to 90021 Hz (+0.02%))

Save payload... Save as CSV... Refresh Jump to Graph Player Next non-Ok Close

図 8-22 WireShark の Skew を昇順にソート

8.11 宅内環境についての考察

8.11.1 ホームゲートウェイ

ここでは、実験に利用したホームゲートウェイの諸元と、期待される機能について述べる。

テレビや電話を含む FTTH サービスでは、ONU によって OLT を終端する。ONU の出力は Ethernet となっており、国内では一般的には L3 スイッチ（宅内ルータ）により WAN 側と LAN 側のネットワークを異なるネットワークアドレスとして分断する。電話サービスが提供されている場合は、一般的に L3 スイッチを含むホームゲートウェイが通信事業者から提供（レンタル）される。電話サービスが提供されていない場合は、ONU には個人が購入したブロードバンドルータと呼ばれる機器を導入する。ただし、通信事業者によっては電話サービスの提供有無によらずホームゲートウェイを提供（レンタル）する。

テレビサービスの利用には IP マルチキャスト対応のセットトップボックス (Set Top Box; STB) が必要であり、ホームゲートウェイの LAN 側に接続される。国内では IP マルチキャスト対応の STB は基本的にレンタルである。実験に利用した。ホームゲートウェイは NEC PF 製 Aterm BL900HW であり、主な機能は、ブロードバンドルータ機能、USB ストレージ機能、電話機能、内蔵無線 LAN 親機機能 (IEEE802.11a/b/n) である。また、本機は IPv4 マルチキャスト機能に調整されており、ブロードバンドルータ機能には、IGMP をプロキシする機能が含まれている。ただし、あくまでプロキシ機能であるため、ルータと直接 PIM (Protocol

Independent Multicast)プロトコルをやり取りすることはない。また、IGMP スヌーピング機能や優先制御機能が含まれている。なお、無線 LAN 親機機能も有しているが、STB 初期設定時には有線接続を必須としている。言い換えると、初期設定後は無線 LAN 接続によるテレビ視聴も機能の上では可能である。

以上のブロードバンドルータ機能のうち、安定的な映像再生を実現するためには、End-to-End での優先制御が必須である。すなわち、OLT よりも上位のネットワークにより付与された優先制御クラスをホームゲートウェイにおいても尊重し、他のインターネットトラフィックに優先して配信する必要がある。同時に、視聴の継続とチャンネル切り替えを行うためには、子機からラストホップルータ (Last Hop Router) に戻る IGMP パケットについても、優先的に処理必要がある。

マルチキャストのうち、IPv4 に対応する廉価なルータはレンタル品しか存在しない。ただし、最近では海外ベンダから廉価な IPv4 に対応するルータも市場に投入されてきた。一方、IPv6 に対応するブロードバンドルータはテレビ対応ブロードバンドルータとして複数のメーカーから市販されている。なお、これまでの検証により、極端に廉価なルータの場合はマルチキャスト処理（パケット複製処理）が CPU 実装となっており、高ビットレートのマルチキャストストリームを安定的に配信できない、もしくは、通常のユニキャスト通信がほとんどできなくなる事象が報告されている。

8.11.2 無線 LAN

無線 LAN でマルチキャストを伝送する場合、無線 LAN ルータのマルチキャスト伝送速度の設定によって、十分な帯域が確保されていない場合がある。また、この帯域以内のマルチキャストストリームでも、電波の状況によってはパケットが損失する場合がある。無線 LAN 機器によっては無線区間のマルチキャストをユニキャストに変換して伝送する機能があり、この機能を利用することによって安定した伝送が可能になる場合もある。今回の実験では以下の図の構成で無線 LAN を用いたマルチキャストストリームの伝送品質の確認を行った。

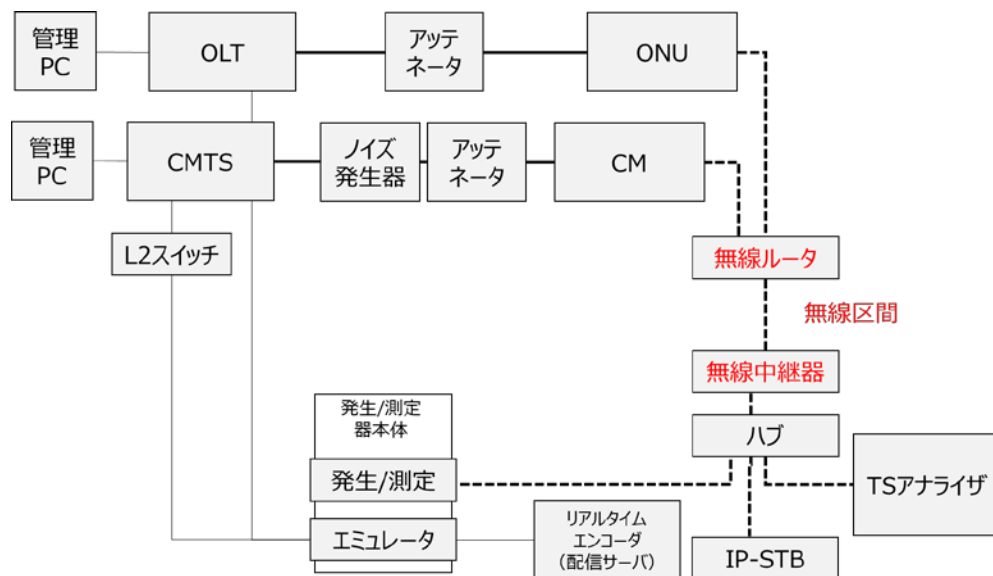


図 8-23 無線 LAN を使用した実験環境

無線 LAN ルータでは ONU/CM から受信したパケットを 802.11a/g/n(5.4GHz)の IPv6 マルチキャストで無線区間を伝送し、1 m程度離れた位置に設置した無線中継器が受信した無線パケットを有線に戻して IP-STB および TS アナライザで確認を行った。

無線 LAN のマルチキャスト伝送速度を 54Mbps に設定して、実際に 30Mbps の映像ストリームを流したところ、パケット損失率は 2.5% 程度で、再生映像は常時乱れた状態であった。本実験では FEC を使用していないが、損失のパターンを確認したところ、多くのパケット損失は FEC により回復可能と想定できたが、連続的に 10 パケット以上損失している部分もあり、すべてのパケット損失を FEC で回復することは難しいと考えられる。

次に無線 LAN のユニキャスト変換について確認した。このユニキャスト変換は無線伝送区間でマルチキャストパケットの MAC アドレスを宛先端末の MAC アドレスに変換してユニキャストとして伝送する機能で、受信端末のアプリケーションは特別な対応を行うことなく通常のマルチキャストとして処理することができる。ユニキャスト変換を有効にして検証を行った結果、30Mbps のストリームを 4 分間流しても、映像に全く乱れはなく、パケット損失も発生しなかった。ユニキャスト通信ではパケット欠落時の再送が可能であり、電波が不安定な状況においても安定して伝送できたためと考えられる。また、このときのジッタは 0.89msec で揺らぎも小さかったと考えられる。

無線 LAN のユニキャスト変換を利用することによりにより、高ビットレートの IP マルチキャストパケットを安定して伝送できることが確認できた。



9 エキスパートグループからの提言

9.1 IP 放送に関する技術的条件とする値について

9.1.1 IP パケットの損失率

IP パケットの損失率は実験結果が確認された値として $PLR = 1 \times 10^{-7}$ 以下とする。ただし、AL-FEC を実施する場合はその FEC の誤り訂正能力を考慮し誤り訂正前の IP パケット損失率による判断も可能とする。例えば誤り訂正能力が 10^3 程度あれば 10^{-4} を基準として測定が可能と考えるものであり、Pro-MPEG FEC COP3方式の誤り訂正能力については参考として 8.9 節に記載したが本報告書で AL-FEC の方式を定めるものではない。

9.1.2 IP パケットの遅延

伝送路に定量的にあるパケット遅延は MPEG-2 TS 再生へ悪影響を及ぼすものではなく、実験の結果からも遅延に関して適当な値が見当たらず、ここで遅延量を定めることはできない。

9.1.3 IP パケットの揺らぎ

パケット遅延の揺らぎは IP-STB のバッファによって吸収し MPEG-2 TS 再生への悪影響を抑制されえるものであるが、バッファサイズ的设计にとっては重要な指標であり、これを定めることが望ましい。よって実験で挿入した値のうち、100msec の揺らぎ量を妥当とする。

9.2 IP 放送に関する技術的条件に係る測定方法について

9.2.1 IP パケットの損失率の測定

IP パケットの損失率は RTP パケットの損失数と RTP ストリーム（ペイロードの）ビットレートによる測定時間によって算出できる。具体的な測定方法については 8.10.2.2 節を、ビットレートに対する測定時間の算出方法は 7.4.2 節を参照されたい。

9.2.2 IP パケットの遅延測定

パケット遅延の測定については受信者端子側から配信サーバ側へ PING を送信した戻り値の 2 分の 1 を参考値とすることが可能だが、マルチキャストのネットワークを通過する RTP とは違うため、厳密な意味での遅延量は測定しえない。詳細については 8.10.2.3 節を参照されたい。

9.2.3 IP パケットの揺らぎ測定

パケット遅延の揺らぎについては送信側が RTP のタイムスタンプを等間隔に打刻していることを前提に、8.10.2.6 に示した方法で揺らぎ量を測定することが可能である。また、計測時間についてはパケット損失率の測定データを利用可能だが、個別に測定する場合は数分のキャプチャデータでも揺らぎ量を測定できる。これは、定常的な遅延揺らぎ量を STB のバッファとして吸収することを想定しており、経路切り替えなどで発生するバースト的な揺らぎ量は最終的にパケット損失として検知され则认为られる。仮に伝送経路上揺らぎを発生させる問題があれば数分のキャプチャデータでも検知しえる。なお、遅延の測定を PING で代替えることを許容できる程度であれば、複数回測定した PING 値から IPDV の算出における IPTDmax と IPTDmin を割り当てることも考えられる。

9.2.4 測定点について

物理層実験においては 8.1.3 節及び 8.3.3 節のとおり ONU の受光パワーもしくは CM の CN 比と IP パケット損失率との間に相関関係が見られたため、IP パケット損失率の測定においては代替手段となり得ると考えられる。ただし、測定項目が遅延、揺らぎである場合この限りではない。

10 今後の課題

10.1.1 MMT・TLV に関する課題

本報告書では MPEG-2 TS の TS パケット長を基に IP パケットの計算をしており、一般に MMT や TLV のパケット長とは異なる。また、MMT や TLV を IP 伝送する仕様は平成 30 年 7 月現在策定されておらず、伝送実験を実施できていないため今後の課題とする。

10.1.2 測定に関する課題

本報告書では IP パケットの揺らぎについて RTP パケットのタイムスタンプを利用した測定を参考値としているが、本来であれば RTP パケットの送出側の仕様を踏まえ、どのように測定すべきかを検討する必要がある、本報告書では汎用的かつ安易な測定方法を導き出すには至っていない。揺らぎの測定方法については引き続き民間標準化団体等で検討することが妥当である。

10.1.3 宅内環境についての課題

本報告書内の実験では宅内環境の影響が反映できるようにホームゲートウェイと無線 LAN を使用した。これについては 8.11 節に考察を記載しているが、本実験に使用した機器は限定されており十分ではない。宅内環境で想定される機器の構成と仕様については別途これを民間標準化機関等において検討し、民間規格等を別途定めるべきである。

Appendix

1 参考資料（実験データ）

2 実験手順

2.1 物理層実験

2.1.1 期待される実験結果

- (1) 伝送網に入力される BER と受信機から出力される UDP の BER が相関している
- (2) 伝送路の品質が劣化することで BER が悪化する相関がある

2.1.2 実験手順

FTTH の物理層実験

No.	実施内容	期待する動作
a-1	事前設定 ・ GE-PON で、マルチキャスト (IP 放送)用と通常トラフィック用の LLID を個々に割り当てる。 ・ 当該 LLID に ToS (優先制御) を設定する。 マルチキャスト ToS=5 通常トラフィック ToS=0 ・ 各 LLID に最低保証帯域及び最大保証帯域を設定する。 (1)最低保証帯域マルチキャスト : 100Mbps 通常トラフィック : 0Mbps (2)最大保証帯域 マルチキャスト : 200Mbps 通常トラフィック : 1Gbps ・ OLT~ONU 間の Aggregate Shaper 値を 500Mbps*1 に設	*1 : Aggregate Shaper 値は暫定値

	定する。 ・ 信号発生器のマルチキャストストリームのビットレートを 5.3.1 の表の No.1 の値に、通常トラフィックのビットレートを 5.3.3 の表の値に設定する。 ・ マルチキャストと通常トラフィックを同一 VLAN (tag) に信号発生器を設定する	
a-2	信号発生器と PON のシステムが接続され、測定器からの IGMP JOIN によって UDP のストリームを受信でき、環境構築に問題がないことを確認する。	測定器で UDP ストリームが受信可能になること
a-3	ONU の受光レベルが規格上の最低受光レベル (-25.5dBm) になるように光アッテネータを調整する。	測定器で UDP ストリームが受信可能になること
a-4	マルチキャストのビットレートに対応した 5.3.2 の表の時間、信号発生器でパケットを送出し、測定器で、パケット損失、パケット遅延、揺らぎ、UDP BER を測定する	パケット損失 : 0
a-5	信号発生器でデータの PRBS(Pseudo Random Binary Sequence)誤り（又は UDP チェックサム誤り）を発生させ、受信側の測定器で誤りを観測する	受信誤りレートが挿入された誤りレートと同一
a-6	光アッテネータにより ONU の受光電力をさらに減衰させ、パケット損失が発生させる。	パケット損失の発生
a-7	このときのパケット損失、パケット遅延、揺らぎ、UDP BER を測定する	

a-8	マルチキャストのビットレートを 5.3.1 の表の No.2～No.4 に設定して、上記同様の実験を実施する	
-----	--	--

HFC の物理層実験

No.	実施内容	期待する動作
b-1	事前設定 ・ CMTS 信号発生器と DOCSIS の設定を使用するケーブルモデム(CM)システムが接続され、測定器からの仕様 (DS8CHxUS2CH) IGMP JOIN に併せて DS(Down Stream) : 8 CH ボンディング、US(Up Stream) : 4CH よって UDP のボンディング 2 CH ボンディング設定とする。 ・ 使用する変調方式は DS : 256QAM、US:16QAM ストリームを受信でき、環境構築に設定する。 ・ CMTS に優先制御を行ううで、マルチキャストグループ(IP 放送)用のレンジを以下のとおり設定する。 12Mbps : 239.1.1.1~239.1.1.255 30Mbps: 239.2.1.1~239.2.1.255 60Mbps: 239.3.1.1.1~239.3.1.255 80Mbps:	・ CM が CMTS で設定したパラメータとコンフグファイルの設定パラメータに従って正しく起動 (w-online) すること受信機から UDP ストリームが出力され、測定器で測定可能になること

	239.4.1.1~239.4.1.255 - 表 5.3.1 に従って、マルチキャストグループレンジ毎に適用する Max-Rate 及び Min-Rate 最大保証帯域を設定する。 (1) ビットレート 80Mbps : Max-Rate:100Mbps/Min-Rate:1Mbps (2) ビットレート 60Mbps : Max-Rate:72Mbps/Min-Rate:1Mbps (3) ビットレート 30Mbps : Max-Rate:36Mbps/Min-Rate:1Mbps (4) ビットレート 12Mbps : Max-Rate:14.4Mbps/Min-Rate:1Mbps - CM コンフィグファイルを DS/US の物理層速度の最大値である DS : 32 Mbps、US : 20 Mbps とし CM を起動させ、CMTS で w-online となる問題がないことを確認する。 - 信号発生器のマルチキャストストリームのビットレートを 5.3.1 の表の No.1 の値に、通常トラフィックのビットレート	
--	---	--

	を 5.3.3 の表の値に設定する。 マルチキャストと通常トラフィックの信号発生器の出力信号を同一の CMTS アップリンクポート (10GE) に入力する。	
b-2	信号発生器と CMTS/CM が接続され、測定器からの IGMP JOIN によって UDP のストリームを受信でき、環境構築に問題がないことを確認する。	測定器でUDPストリームが受信可能になること
b-3	CM の DS(Down Stream)受信レベルが規格上の最低レベル (-15dBm) になるように CMTS の設定又はアッテネータを調整する。	測定器でUDPストリームが受信可能になること
b-4	マルチキャストのビットレートに対応した 5.3.2 の表の時間、信号発生器でパケットを送出し、測定器で、パケット損失、パケット遅延、揺らぎ、UDP BER を測定する	パケット損失 : 0
b-5	信号発生器でデータの PRBS(Pseudo Random Binary Sequence)誤り (又は UDP チェックサム誤り) を発生させ、受信側の測定器で誤りを観測する	受信誤りレートが挿入された誤りレートと同一
b-6	CMTS 出力レベル設定、アッテネータにより CM の受信電力をさらに低下させ、パケット損失が発生するポイントまで低下させる。	パケット損失の発生
b-7	このときのパケット損失、パケット遅延、揺らぎ、UDP BER を測定する	
b-8	マルチキャストのビットレート	

	を 5.3.1 の表の No.2～No.4 に設定して、上記同様の実験を実施する	
b-9	ノイズ発生器の白色雑音出力レベルを調整し、CM の受信 CN 比を DOCSIS 仕様の伝送路に求められる DS(Down Stream)の C/N 比である 25 dB に設定する。	測定器で UDP ストリームが受信可能になること
b-10	マルチキャストのビットレートに対応した 5.3.2 の表の時間、信号発生器でパケットを送出し、測定器で、パケット損失、パケット遅延、揺らぎ、UDP BER を測定する	パケット損失 : 0
b-11	ノイズ発生器の白色雑音出力レベルを調整し、CM の受信 C/N 値を更に低下させ、パケット損失が発生するポイントまで低下させ、CN 比を測定する。	パケット損失の発生
b-12	このときのパケット損失、パケット遅延、揺らぎ、UDP BER を測定する	
b-13	マルチキャストのビットレートを 5.3.1 の表の No.2～No.4 に設定して、上記同様の実験を実施する	

2.2 IP 層実験手順

2.2.1 期待される実験結果

- (1) IP パケットの品質状況と映像品質に相関がある
- (2) 伝送網の優先制御（もしくは QoS）と映像品質に相関がある

2.2.2 実験手順

FTTH の IP 層実験

No.	実施内容	期待する動作
c1-1	【受信確認】 配信サーバ信号発生器と PON のシステムが接続され、TS アナライザ測定器からの IGMP/MLD JOIN によって RTP/UDP のストリームを受信でき、環境構築に問題がないことを確認する。	TS アナライザ測定器で RTP/UDP ストリームが受信可能になること
c1-2	【視聴確認】 上記実験の TS アナライザの代わりに IP-STB を使用し、IGMP/MLD JOIN によって RTP ストリームを受信して再生できることを確認する。	IP-STB で TS ストリームを再生できること
c2-1	【パケット損失動作確認】 トラフィックエミュレータでフレーム損失を発生させ、TS アナライザでパケット損失として検知できること。また、損失発生を停止すると、パケット損失も検知しなくなることを確認する。	TS アナライザによるパケット損失検知が確認できること 計測区間でのパケット損失の有無が確認できること
c2-2	【パケット損失率】 トラフィックエミュレータで損失率を変化させ、TS アナライザで相応のパケット損失が検知できること。また、IP-STB で再生した映像品質の劣化度	パケット損失率と映像品質への影響が確認できること

	合いを確認する。	
c2-3	【FEC による回復】 上記実験で FEC を送信し、受信側での損失の修復度合いを確認する。	損失率がある程度低くなると FEC によるパケット損失修復が可能となること
c2-4	【PON 区間での損失】 OLT-ONU 間のアッテネータを調整して発生した損失が、トラフィックエミュレータの損失と同等の特性を示すことを確認する。	損失の要因に関わらず、パケット損失を検知した際の映像品質の劣化が同等であること
c2-5	【損失の検出】 RTP のシーケンス番号を確認する簡単なツールにより、TS アナライザと同じパケット損失を検出できることを確認する。	簡単なツールにより、実フィールドで容易に伝送品質(パケット損失)を測定できること
c3-1	【パケット遅延】 リアルタイムエンコーダから送出したストリームにトラフィックエミュレータで遅延量を変化させ、IP-STB での再生遅延を確認する。	適切に遅延を付加できていること
c3-2	【遅延の影響】 上記実験で遅延量を変化させても、TS アナライザでパケット損失が検出されないことを確認する。 また IP-STB での映像品質に劣化がないことを確認する。	IP パケットの遅延がパケット損失と映像品質の劣化に影響がないこと
c3-3	【ジッタ】 リアルタイムエンコーダから送出したストリームにトラフィックエミュレータでジッタ量を変化させ、TS アナライザでジッタ量を確認する。	適切にジッタを付加できていること

c3-4	【ジッタの影響】 最大のジッタ量を吸収できる受信バッファを有する IP-STB で再生した場合に、映像品質に影響がないことを確認する。	IP-STB のジッタ吸収機能が正しく動作していること ※バッファ量を把握できる IP-STB が実験に必要
c3-5	【ジッタの影響】 最大のジッタ量を吸収できない受信バッファを有する IP-STB で再生した場合に、映像品質に影響がでることを確認する。	IP-STB でジッタを吸収できない場合の動作と映像品質が確認できること ※バッファ量を把握・設定できる IP-STB が実験に必要
c3-6	【バッファ量】 IP-STB のバッファ量を変化させた場合の再生開始から表示されるまでの時間を確認する。	IP-STB のバッファリングによる表示開始まで時間が確認できること ※バッファ量を設定できる IP-STB が実験に必要
c4-1	【宅内ルータ】 IPTV に対応した複数の宅内ルータを比較し、ビットレートや揺らぎを変化させた場合の伝送品質を確認する。	宅内ルータの伝送品質を把握し、伝送区間以外での品質劣化を考慮したサービス提供、端末設計に活用する
c4-2	【Wi-Fi 伝送品質】 Wi-Fi 区間でのユニキャスト変換の有無を設定し、TS アナライザで伝送品質の差異を確認する。 また、IP-STB による再生品質の差異を確認する	IP マルチキャストを Wi-Fi 経由で受信する場合の品質を確認し、ユニキャスト変換機能で大幅に伝送品質が改善すること

HFC の IP 層実験

No.	実施内容	期待する動作
d1-1	【受信確認】 配信サーバ信号発生器と CMTS DOCSIS のシステムが接続され、CM に接続された TS	TS アナライザで RTP 受信機から UDP ストリームが受信出力され、測定器で測定可能になること

	アナライザ測定器からの IGMP/MLD JOIN によって RTPUDP のストリームを受信でき、環境構築に問題がないことを確認する。	
d1-2	【視聴確認】 上記実験の TS アナライザの代わりに IP-STB を使用し、IGMP/MLD JOIN によって RTP ストリームを受信して再生できることを確認する。	IP-STB で TS ストリームを再生できること
d2-1	【パケット損失動作確認】 トラフィックエミュレータでフレーム損失を発生させ、TS アナライザでパケット損失として検知できること。また、損失発生を停止すると、パケット損失も検知しなくなることを確認する。	TS アナライザによるパケット損失検知が確認できること 計測区間でのパケット損失の有無が確認できること
d2-2	【パケット損失率】 トラフィックエミュレータで損失率を変化させ、TS アナライザで相応のパケット損失が検知できること。また、IP-STB で再生した映像品質の劣化度合いを確認する。	パケット損失率と映像品質への影響が確認できること
d2-3	【FEC による回復】 上記実験で FEC を送信し、受信側での損失の修復度合いを確認する。	損失率がある程度低くなると FEC によるパケット損失修復が可能となること
d2-4	【DOCSIS 区間での損失 1】 b-6 で設定した CM の受信レベルで発生したパケット損失が、トラフィックエミュレータの損失と同等の特性を示すことを確認する。	損失の要因に関わらず、パケット損失を検知した際の映像品質の劣化が同等であること

d2-5	【損失の検出】 RTP のシーケンス番号を確認する簡単なツールにより、TS アナライザと同じパケット損失を検出できることを確認する。	簡単なツールにより、実フィールドで容易に伝送品質(パケット損失)を測定できること
d2-6	【DOCSIS 区間での損失 2】 b-11 で設定した CM の受信点における CN 比で発生したパケット損失が、トラフィックエミュレータの損失と同等の特性を示すことを確認する。	損失の要因に関わらず、パケット損失を検知した際の映像品質の劣化が同等であること
d2-7	【損失の検出】 RTP のシーケンス番号を確認する簡単なツールにより、TS アナライザと同じパケット損失を検出できることを確認する。	簡単なツールにより、実フィールドで容易に伝送品質(パケット損失)を測定できること
d3-1	【パケット遅延】 リアルタイムエンコーダから送出したストリームにトラフィックエミュレータで遅延量を変化させ、IP-STB での再生遅延を確認する。	適切に遅延を付加できていること
d3-2	【遅延の影響】 上記実験で遅延量を変化させても、TS アナライザでパケット損失が検出されないことを確認する。 また IP-STB での映像品質に劣化がないことを確認する。	IP パケットの遅延がパケット損失と映像品質の劣化に影響がないこと
d3-3	【ジッタ】 リアルタイムエンコーダから送出したストリームにトラフィックエミュレータでジッタ量を変化させ、TS アナライザ	適切にジッタを付加できていること

	でジッタ量を確認する。	
d3-4	【ジッタの影響】 最大のジッタ量を吸収できる受信バッファを有する IP-STB で再生した場合に、映像品質に影響がないことを確認する。	IP-STB のジッタ吸収機能が正しく動作していること ※バッファ量を把握できる IP-STB が実験に必要
d3-5	【ジッタの影響】 最大のジッタ量を吸収できない受信バッファを有する IP-STB で再生した場合に、映像品質に影響がでることを確認する。	IP-STB でジッタを吸収できない場合の動作と映像品質が確認できること ※バッファ量を把握・設定できる IP-STB が実験に必要
d3-6	【バッファ量】 IP-STB のバッファ量を変化させた場合の再生開始から表示されるまでの時間を確認する。	IP-STB のバッファリングによる表示開始まで時間が確認できること ※バッファ量を設定できる IP-STB が実験に必要
d3-7	【宅内ルータ】 IPTV に対応した複数の宅内ルータを比較し、ビットレートや揺らぎを変化させた場合の伝送品質を確認する。	宅内ルータの伝送品質を把握し、伝送区間以外での品質劣化を考慮したサービス提供、端末設計に活用する
d3-8	【Wi-Fi 伝送品質】 Wi-Fi 区間でのユニキャスト変換の有無を設定し、TS アナライザで伝送品質の差異を確認する。 また、IP-STB による再生品質の差異を確認する	IP マルチキャストを Wi-Fi 経由で受信する場合の品質を確認し、ユニキャスト変換機能で大幅に伝送品質が改善すること

3 実験結果データ

FTTH での物理層実験結果データ (80Mbps)

dB	受信パケット	ロスト	総パケット数	ロス率
32.50	1,018,561	206,685	1,225,246	1.7E-01
32.00	1,243,859	29,988	1,273,847	2.4E-02
31.50	1,272,727	1,946	1,274,673	1.5E-03
31.00	1,271,226	162	1,271,388	1.3E-04
30.70	1,280,501	6	1,280,507	4.7E-06
30.50	2,158,886	5	2,158,891	2.3E-06
30.30	2,158,073	1	2,158,074	4.6E-07
30.00	14,002,192	0	14,002,192	0.0E+00
25.50	1,285,671	0	1,285,671	0.0E+00

FTTH での物理層実験結果データ (12Mbps)

dB	受信パケット	ロスト	総パケット数	ロス率
32.50	157,606	28,516	186,122	1.5E-01
32.00	184,943	5,730	190,673	3.0E-02
31.50	193,193	291	193,484	1.5E-03
31.00	192,044	21	192,065	1.1E-04
30.70	192,025	1	192,026	5.2E-06
30.50	193,444	0	193,444	0.0E+00
25.50	192,506	0	192,506	0.0E+00

HFC での物理層実験結果データ (80Mbps) レベル +6dB

dB	受信パケット	ロスト	総パケット数	ロス率
35.00	1,286,271	0	1,286,271	0.0E+00
33.00	1,286,271	0	1,286,271	0.0E+00
28.70	13,011,071	1	13,011,072	7.7E-08
28.60	9,833,000	2	9,833,002	2.0E-07
28.50	5,381,163	5	5,381,168	9.3E-07
28.40	2,578,029	3	2,578,032	1.2E-06
28.30	1,283,020	7	1,283,027	5.5E-06
28.20	1,389,295	3	1,389,298	2.2E-06

28.10	1,283,917	3	1,283,920	2.3E-06
28.00	1,288,765	131	1,288,896	1.0E-04
27.90	1,279,098	277	1,279,375	2.2E-04
27.50	1,339,943	1728	1,341,671	1.3E-03
27.00	1,189,853	89044	1,278,897	7.0E-02

HFC での物理層実験結果データ (12Mbps) レベル +6dB

dB	受信パケット	ロスト	総パケット数	ロス率
28.60	820993	0	820,993	0.0E+00
28.30	827935	3	827,938	3.6E-06
28.00	159,993	1	159,994	6.3E-06
27.80	164,488	1	164,489	6.1E-06
27.70	160,803	7	160,810	4.4E-05
27.60	162071	57	162,128	3.5E-04
27.30	159,600	873	160,473	5.4E-03
27.00	158,959	7,436	166,395	4.5E-02

パケット損失 IP 層実験結果データ (80Mbps) 10⁻¹

EventID	State	Time	Packet	Message
37121	4096	2018/06/21 11:11:36.479 JST	14749775	セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLTAg:0x0 TS Continuity Count エラー end
12594	12288	2018/06/21 11:11:34.618 JST	14650772	TR 101 290 エラー1.4 (Continuity_Count エラー) : pid 512 [0x200]
12594	12288	2018/06/21 11:11:34.387 JST	14638487	TR 101 290 エラー1.4 (Continuity_Count エラー) : pid 512 [0x200]
12594	12288	2018/06/21 11:11:34.274 JST	14632523	TR 101 290 エラー1.4 (Continuity_Count エラー) : pid 512 [0x200]
12594	12288	2018/06/21 11:11:34.160 JST	14626433	TR 101 290 エラー1.4 (Continuity_Count エラー) : pid 512 [0x200]

パケット損失 IP 層実験結果データ (80Mbps) 10⁻²

EventID	State	Time	Packet	Message
37121	4096	2018/06/21 11:03:14.567 JST	37625051	セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLSID:0x0 TS Continuity Count エラー end
12594	12288	2018/06/21 11:03:12.281 JST	37503462	TR 101 290 エラー1.4 (Continuity_Count エラー) : pid 512 [0x200]
37121	12288	2018/06/21 11:03:12.099 JST	37493741	セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLSID:0x0 TS Continuity Count エラー start
37121	4096	2018/06/21 11:03:11.321 JST	37452380	セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLSID:0x0 TS Continuity Count エラー end
12594	12288	2018/06/21 11:03:10.987 JST	37434631	TR 101 290 エラー1.4 (Continuity_Count エラー) : pid 512 [0x200]

パケット損失 IP 層実験結果データ (80Mbps) 10⁻³

EventID	State	Time	Packet	Message
37121	4096	2018/06/21 11:17:32.135 JST	14900765	セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLSID:0x0 TS Continuity Count エラー end
37121	12288	2018/06/21 11:17:31.320 JST	14857432	セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLSID:0x0 TS Continuity Count エラー start
12594	12288	2018/06/21 11:17:31.003 JST	14840542	TR 101 290 エラー1.4 (Continuity_Count エラー) : pid 512 [0x200]
37121	4096	2018/06/21 11:17:24.821 JST	14511725	セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLSID:0x0 TS Continuity Count エラー end
37121	12288	2018/06/21 11:17:23.793 JST	14457076	セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLSID:0x0 TS Continuity Count エラー start

パケット損失 IP 層実験結果データ (80Mbps) 10^{-4}

EventID	State	Time	Packet	Message
37121	4096	2018/06/22 16:29:35.696 JST	21783972	セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLTAg:0x0 TS Continuity Count エラー end
12594	12288	2018/06/22 16:29:35.305 JST	21763197	TR 101 290 エラー1.4 (Continuity_Count エラー) : pid 512 [0x200]
12594	12288	2018/06/22 16:29:33.951 JST	21691174	TR 101 290 エラー1.4 (Continuity_Count エラー) : pid 512 [0x200]
37121	12288	2018/06/22 16:29:33.224 JST	21652517	セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLTAg:0x0 TS Continuity Count エラー start
12594	12288	2018/06/22 16:29:32.669 JST	21622973	TR 101 290 エラー1.4 (Continuity_Count エラー) : pid 512 [0x200]
37121	4096	2018/06/22 16:29:32.410 JST	21609237	セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLTAg:0x0 TS Continuity Count エラー end
12594	12288	2018/06/22 16:29:31.121 JST	21540674	TR 101 290 エラー1.4 (Continuity_Count エラー) : pid 512 [0x200]
37121	12288	2018/06/22 16:29:29.973 JST	21479605	セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLTAg:0x0 TS Continuity Count エラー start

パケット損失 IP 層実験結果データ (80Mbps) 10^{-5}

EventID	State	Time	Packet	Message
37121	4096	2018/06/22 16:36:12.771 JST	42904876	セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLTAg:0x0 TS Continuity Count エラー end
37121	12288	2018/06/22 16:36:11.972 JST	42862380	セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLTAg:0x0 TS Continuity Count エラー start

12594	12288	2018/06/22 16:36:10.570 JST	42787774	TR 101 290 エラー1.4 (Continuity_Count エラー) : pid 512 [0x200]
37121	4096	2018/06/22 16:35:59.762 JST	42212896	セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLSID:0x0 TS Continuity Count エラー end
37121	12288	2018/06/22 16:35:58.977 JST	42171129	セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLSID:0x0 TS Continuity Count エラー start
12594	12288	2018/06/22 16:35:58.067 JST	42122753	TR 101 290 エラー1.4 (Continuity_Count エラー) : pid 512 [0x200]
37121	4096	2018/06/22 16:35:50.817 JST	41737114	セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLSID:0x0 TS Continuity Count エラー end
37121	12288	2018/06/22 16:35:49.990 JST	41693102	セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLSID:0x0 TS Continuity Count エラー start

パケット損失 IP 層実験結果データ (80Mbps) 10⁻⁶

EventID	State	Time	Packet	Message
37121	4096	2018/06/22 16:42:06.757 JST	61733947	セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLSID:0x0 TS Continuity Count エラー end
12594	12288	2018/06/22 16:42:04.708 JST	61624991	TR 101 290 エラー1.4 (Continuity_Count エラー) : pid 512 [0x200]
37121	12288	2018/06/22 16:38:41.236 JST	50801964	セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLSID:0x0 TS Continuity Count エラー start
12594	12288	2018/06/22 16:38:40.327 JST	50753578	TR 101 290 エラー1.4 (Continuity_Count エラー) : pid 512 [0x200]

パケット損失 IP 層実験結果データ (80Mbps) 10^{-7}

EventID	State	Time	Packet	Message
37121	4096	2018/06/29 15:09:48.392 JST	6.07E+08	セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLSID:0x0 TS Continuity Count エラー end
37121	12288	2018/06/29 15:09:47.546 JST	6.07E+08	セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLSID:0x0 TS Continuity Count エラー start
12594	12288	2018/06/29 15:09:47.154 JST	6.07E+08	TR 101 290 エラー1.4 (Continuity_Count エラー) : pid 4112 [0x1010]
12594	12288	2018/06/29 15:09:47.149 JST	6.07E+08	TR 101 290 エラー1.4 (Continuity_Count エラー) : pid 512 [0x200]
12356	12288	2018/06/29 15:09:37.744 JST	6.07E+08	PCR 周波数オフセットエラー: pid 512 [0x200](オフセット: -811Hz) start
37121	4096	2018/06/29 15:08:55.353 JST	6.04E+08	セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLSID:0x0 TS Continuity Count エラー end
37121	12288	2018/06/29 15:08:54.543 JST	6.04E+08	セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLSID:0x0 TS Continuity Count エラー start
12594	12288	2018/06/29 15:08:53.596 JST	6.04E+08	TR 101 290 エラー1.4 (Continuity_Count エラー) : pid 512 [0x200]

遅延挿入 IP 層実験結果データ (100msec)

EventID	State	Time	Packet	Message
12357	8192	2018/06/27 18:44:51.738 JST	36163800	PCR 周波数ドリフトエラー: pid 512 [0x200](ドリフト: 1771146mHz/s) end, duration 108866ms
12357	12288	2018/06/27 18:43:02.872 JST	30372980	PCR 周波数ドリフトエラー: pid 512 [0x200](ドリフト: 16631mHz/s) start
12357	8192	2018/06/27 18:43:02.589 JST	30358084	PCR 周波数ドリフトエラー: pid 512 [0x200](ドリフト: -9268224mHz/s) end, duration 67809ms
12357	12288	2018/06/27 18:41:54.779 JST	26751390	PCR 周波数ドリフトエラー: pid 512 [0x200](ドリフト: -9268224mHz/s) start
12356	12288	2018/06/27 18:41:53.944 JST	26706702	PCR 周波数オフセットエラー: pid 512 [0x200](オフセット: - 1114841Hz) start
12355	8192	2018/06/27 18:41:43.164 JST	26133206	PCR オーバーオールジッタ エラ ー: pid 512 [0x200](ジッタ: - 40679us) end, duration 29ms
12355	12288	2018/06/27 18:41:43.135 JST	26131344	PCR オーバーオールジッタ エラ ー: pid 512 [0x200](ジッタ: - 40679us) start
12355	8192	2018/06/27 18:41:42.952 JST	26122034	PCR オーバーオールジッタ エラ ー: pid 512 [0x200](ジッタ: - 43334us) end, duration 25ms
12355	12288	2018/06/27 18:41:42.927 JST	26120172	PCR オーバーオールジッタ エラ ー: pid 512 [0x200](ジッタ: - 43334us) start
12355	8192	2018/06/27 18:41:42.737 JST	26110862	PCR オーバーオールジッタ エラ ー: pid 512 [0x200](ジッタ: - 40705us) end, duration 24ms
12355	12288	2018/06/27 18:41:42.713 JST	26109000	PCR オーバーオールジッタ エラ ー: pid 512 [0x200](ジッタ: - 40705us) start

遅延挿入 IP 層実験結果データ (150msec)

EventID	State	Time	Packet	Message
12355	8192	2018/06/27 18:36:01.388 JST	8470676	PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -44419us) end, duration 24ms
12355	12288	2018/06/27 18:36:01.363 JST	8468814	PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -44419us) start
12355	8192	2018/06/27 18:36:01.323 JST	8466952	PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -45379us) end, duration 30ms
12355	12288	2018/06/27 18:36:01.294 JST	8465090	PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -45379us) start
12355	8192	2018/06/27 18:36:01.067 JST	8453918	PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -45936us) end, duration 125ms
12355	12288	2018/06/27 18:36:00.942 JST	8446470	PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -44587us) start
12355	8192	2018/06/27 18:36:00.723 JST	8435298	PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -47381us) end, duration 98ms
12355	12288	2018/06/27 18:36:00.625 JST	8429712	PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -43821us) start
12355	8192	2018/06/27 18:36:00.402 JST	8418540	PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -46388us) end, duration 128ms
12355	12288	2018/06/27 18:36:00.274 JST	8411092	PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -44378us) start
12355	8192	2018/06/27 18:36:00.226 JST	8409230	PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -41356us) end, duration 25ms
12355	12288	2018/06/27 18:36:00.201 JST	8407368	PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -41356us) start
12355	8192	2018/06/27 18:36:00.084 JST	8401782	PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -48657us) end, duration 124ms

遅延挿入 IP 層実験結果データ (200msec)

EventID	State	Time	Packet	Message
12357	12288	2018/06/27 18:29:33.639 JST	1.45E+08	PCR 周波数ドリフトエラー: pid 512 [0x200](ドリフト: 33740mHz/s) start
12357	8192	2018/06/27 18:29:33.615 JST	1.45E+08	PCR 周波数ドリフトエラー: pid 512 [0x200](ドリフト: -115120264mHz/s) end, duration 768490ms
12355	8192	2018/06/27 18:28:58.433 JST	1.43E+08	PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -41278us) end, duration 28ms
12355	12288	2018/06/27 18:28:58.405 JST	1.43E+08	PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -41278us) start
12355	8192	2018/06/27 18:28:58.086 JST	1.43E+08	PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -44341us) end, duration 30ms
12355	12288	2018/06/27 18:28:58.056 JST	1.43E+08	PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -44341us) start
12355	8192	2018/06/27 18:28:58.016 JST	1.43E+08	PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -42535us) end, duration 68ms
12355	12288	2018/06/27 18:28:57.948 JST	1.43E+08	PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -42535us) start
12355	8192	2018/06/27 18:28:57.904 JST	1.43E+08	PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -41985us) end, duration 28ms
12355	12288	2018/06/27 18:28:57.876 JST	1.43E+08	PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -41985us) start
12355	8192	2018/06/27 18:28:57.658 JST	1.43E+08	PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -48736us) end, duration 57ms

遅延挿入 IP 層実験結果データ (300msec)

EventID	State	Time	Packet	Message
12355	8192	2018/06/27 18:25:24.505 JST	1.32E+08	PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: 40962us) end, duration 36ms
12355	12288	2018/06/27 18:25:24.469 JST	1.32E+08	PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: 40962us) start
12355	8192	2018/06/27 18:25:23.882 JST	1.32E+08	PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: 42224us) end, duration 76ms
12355	12288	2018/06/27 18:25:23.806 JST	1.32E+08	PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: 40580us) start
12355	8192	2018/06/27 18:25:23.215 JST	1.32E+08	PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: 43919us) end, duration 43ms
12355	12288	2018/06/27 18:25:23.172 JST	1.32E+08	PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: 43919us) start
12355	8192	2018/06/27 18:25:22.546 JST	1.32E+08	PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: 42380us) end, duration 70ms
12355	12288	2018/06/27 18:25:22.476 JST	1.32E+08	PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: 40481us) start
12355	8192	2018/06/27 18:25:21.882 JST	1.32E+08	PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: 42790us) end, duration 40ms
12355	12288	2018/06/27 18:25:21.842 JST	1.32E+08	PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: 42790us) start
12355	8192	2018/06/27 18:25:02.002 JST	1.31E+08	PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: 40921us) end, duration 70ms
12355	12288	2018/06/27 18:25:01.932 JST	1.31E+08	PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: 40309us) start
12355	8192	2018/06/27 18:25:01.338 JST	1.31E+08	PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: 40629us) end, duration 36ms

遅延挿入 IP 層実験結果データ (500msec)

EventID	State	Time	Packet	Message
12355	12288	2018/06/27 17:47:37.995 JST	13296984	PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -42610us) start
14420	12288	2018/06/27 17:47:37.500 JST	N/A	IF IP pkt interarrival time リミット エラ ー 10135463 (threshold 10000000) start
36871	12288	2018/06/27 17:47:37.444 JST	13271094	セッション 172.10.10.5 から 239.1.1.1:6000 VLTAg:0x0 IP PIT オー バーリミット (10135us) start
12355	8192	2018/06/27 17:47:36.974 JST	13242986	PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -46615us) end, duration 103ms
12355	12288	2018/06/27 17:47:36.871 JST	13237400	PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -40512us) start
14420	8192	2018/06/27 17:47:36.000 JST	N/A	IF IP pkt interarrival time リミット エラ ー 5227472 (threshold 10000000) end, duration 500ms
12355	8192	2018/06/27 17:47:35.854 JST	13183402	PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -49428us) end, duration 102ms
12355	12288	2018/06/27 17:47:35.752 JST	13177816	PCR オーバーオールジッタ エラー: pid 512 [0x200](ジッタ: -43323us) start
12640	8192	2018/06/27 17:47:35.671 JST	13173757	TR 101 290 エラー 1.5.a (PMT 周期 エラー2): PMT 周期が設定値を超え た プログラム program 1 [0x1] pid 256 [0x100] end, duration 133ms
12640	12288	2018/06/27 17:47:35.668 JST	N/A	TR 101 290 エラー 1.5.a (PMT 周期 エラー2): PMT 周期が設定値を超え た プログラム program 1 [0x1] pid 256 [0x100] start

デジタル有線テレビジョン放送用
受信装置における 256QAM 方式信号の
C/N比試験報告書

平成28年10月11日

一般社団法人 日本CATV技術協会

はじめに

これまで、有線一般放送の品質に関する技術基準（平成 23 年総務省令第 95 号）のデジタル有線テレビジョン放送方式の 256QAM の CN 比等の規格については、64QAM 規格を制定した当初の試験データを利用して規定したが、その後の STB の技術進歩を鑑み見直しが必要な段階に来ている。このため、JLabs SPEC-018【デジタル放送 高度リマックス運用仕様（i-HITS）】相当品の STB が 256QAM 方式を使った放送の端末として利用されると推定されることから、複数社の STB を使用して再評価を行うことで所要 CN 比の見直しを行うものとする。

256QAM 方式信号の CN 比試験報告書

目 次

1. 256QAM デジタル有線テレビジョン信号の搬送波帯幅と帯域外輻射レベルの特性	1
1.1 測定系統図	1
1.2 測定条件	1
1.3 測定結果	1
2. 256QAM 信号の CN 比と BER の測定	3
2.1 測定系統図	3
2.2 BER (RS-OFF) が 1×10^{-4} となる CN 比の測定結果	3
2.4 測定詳細	5
2.5 試験結果	7
3. 多チャンネル伝送時の 256QAM 信号の CN 比と BER の測定	8
3.1 測定系統図	8
3.2 多チャンネル伝送波形	8
3.3 BER (RS-OFF) が 1×10^{-4} となる CN 比の測定結果	10
3.4 測定詳細	11
4. 変調器の確認	14
5. 関連する品質基準について	15
5.1 所要 CN 比	15
5.2 搬送波のレベル	15
6. 試験日、試験場所及び測定器	16

1. 256QAM デジタル有線テレビジョン信号の搬送波帯幅と帯域外輻射レベルの特性

本試験では、測定の基本データを得るための256QAM デジタル有線テレビジョン放送信号(以下「256QAM 信号」とする)の信号レベル・帯域外輻射レベルと搬送波帯幅をスペクトラムアナライザで測定する。

1.1 測定系統図

測定系統図を図 1-1 に示す。

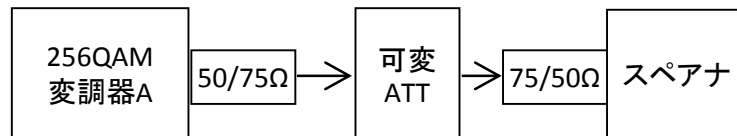


図 1-1 256QAM 信号の信号レベル・搬送波帯幅および帯域外輻射レベルの試験系統図

1.2 測定条件

測定条件を表1-1に示す。

表 1-1 測定条件

CN比		雑音付加なし
スペアナ	スパン	10MHz
	分解能帯域幅 (RBW)	100kHz
	映像帯域幅 (VBW)	1MHz
	測定モード	平均値
	検波モード	SAMPLE
	アベレージ機能	1000回
	チャンネルパワー帯域幅	6MHz

1.3 測定結果

測定結果を表 1-2 および図 1-2、図 1-3 に示す。

1.3.1 信号レベルと帯域外輻射レベル

表 1-2 測定結果

項目	条件	変調器
信号レベル		90dBμV
帯域外輻射レベル ^{注)}		-61dB以下

注) 帯域外輻射レベルは、測定周波数は 479/761MHz の悪い方の値

1.3.2 搬送波帯幅

変調器：測定チャンネル周波数 U14 (479MHz)

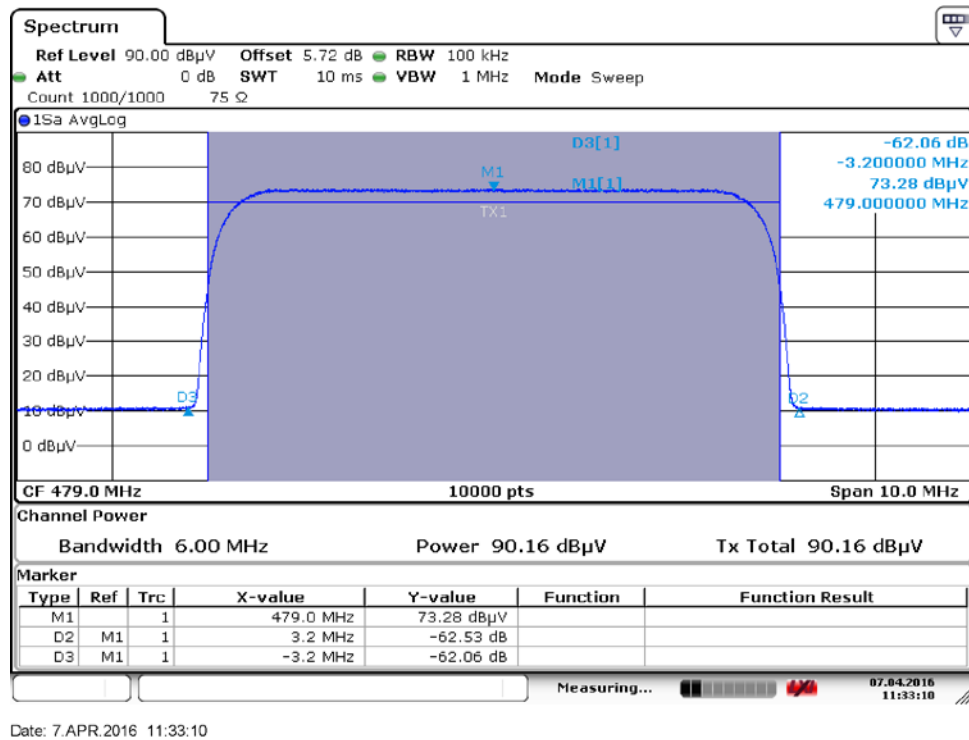


図 1-2 256QAM 信号 U14 (479MHz) の搬送波帯幅と帯域外輻射レベルの測定結果 (変調器)

変調器：測定チャンネル周波数 U61 (761MHz)

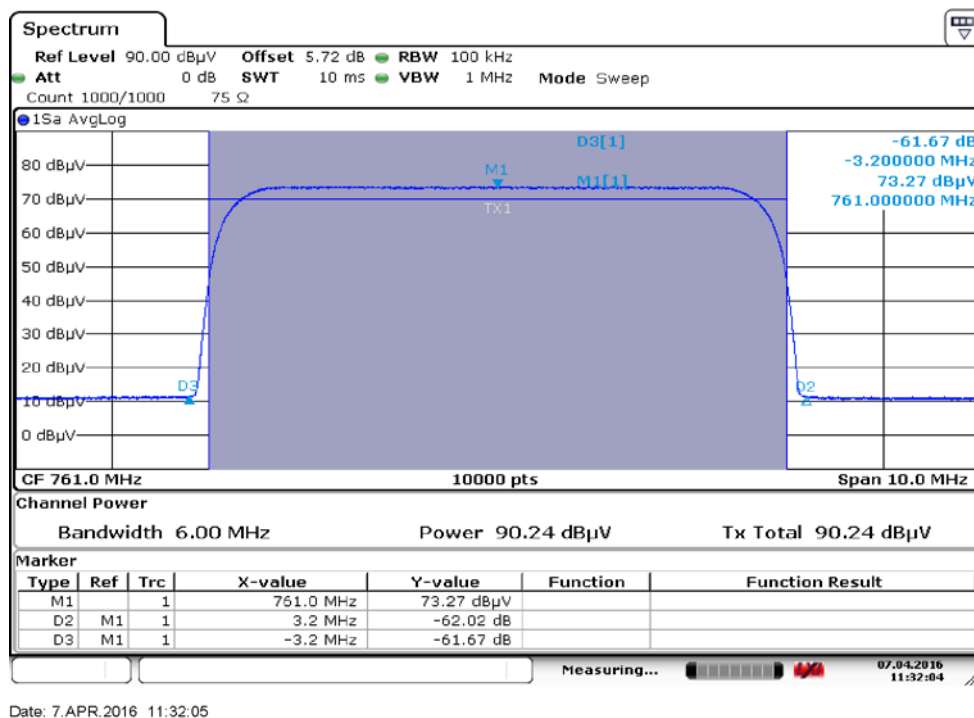


図 1-3 256QAM 信号 U61 (761MHz) 搬送波帯幅と帯域外輻射レベルの測定結果 (変調器)

2. 256QAM 信号の CN 比と BER の測定

本試験では、256QAM 信号にガウスノイズが重畳されたときの信号電力 (C) とノイズ電力 (N) の比に対する BER を複数社の STB で測定する。

2.1 測定系統図

測定系統図を図 2-1 に示す。

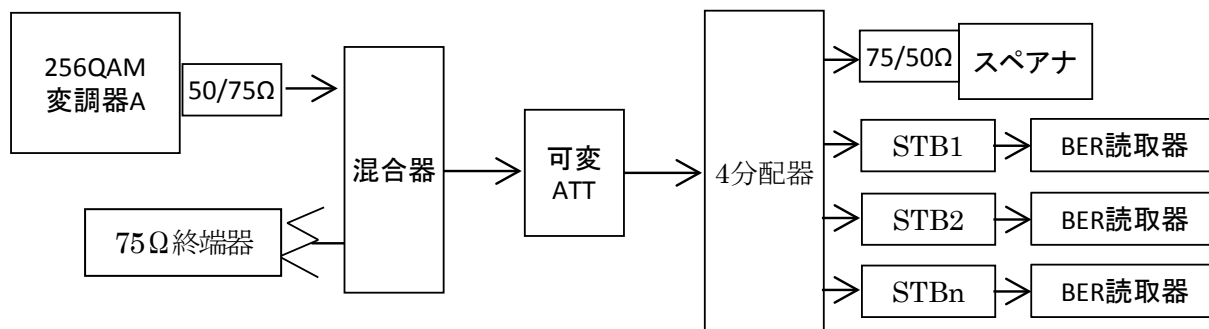


図 2-1 256QAM 信号の CN 比と BER 測定の試験系統図

<変調器 A 設定条件> :

出力レベル=91.5dBμV/479MHz, 92.8dBμV/761MH

(設定 File 名 : D:data/256qam-479MHz-160624.savrd)

<ATT 設定>

- ・ STB 受信レベル 66dBμV : 479MHz/12.3dB、761MHz/11.3dB
- ・ STB 受信レベル 55dBμV : 479MHz/23.4dB、761MHz/22.4dB

2.2 BER (RS-OFF) が 1×10^{-4} となる CN 比の測定結果

BER (RS-OFF) が 1×10^{-4} となる CN 比を測定した結果を表 2-1 に示す。

なお、測定条件を表 2-2 に示す。

測定は、標準入力レベル (66dBμV) と最低入力レベル (55dBμV) において行う。

表 2-1 BER (RS-OFF) が 1×10^{-4} となる CN 比測定値 (256QAM 1 波の時)

項目	入力レベル	66dBμV	55dBμV
BER (RS前) が 1×10^{-4} となる CN比 (dB) (理論値30.5dB)	STB1	30.8 / 30.8	31.0 / 31.1
	STB2	30.8 / 30.8	31.0 / 31.1
	STB3	31.5 / 31.6	31.8 / 31.8
	STB4	31.0 / 31.0	31.3 / 31.3
	STB5	30.7 / 30.7	30.7 / 30.8
	STB6	30.7 / 30.7	30.7 / 30.8

注 1) 測定周波数は U14 (479MHz) / U61 (761MHz)

注 2) STB には RS-OFF 時の BER を外部 BER 測定器で測定する機能がないため、STB の RS-OFF 時の BER としては STB 内部処理で算出した BER 表示値を使用した。

注 3) RS-OFF 時の BER 理論値は、下記の理論式より求めた。

$$\text{絶対同期検波の場合 ; } \text{BER}_{256\text{QAM}} = 15/64 \operatorname{erfc}(C/N / 170)^{1/2}$$

表 2-2 CN 比測定条件

測定周波数		U14 (479MHz) / U61 (761MHz)
スペアナ 設定	スパン	20MHz
	分解能帯域幅 (RBW)	100kHz
	映像帯域幅 (VBW)	1kHz
	レベル測定モード	平均値
	検波モード	SAMPLE
	アベレージ機能	1000回
	チャンネルパワー帯域幅	6MHz

2.4 測定詳細

測定はU14chおよびU61chで標準入力レベル（66dBμV）と最低入力レベル（55dBμV）で行い、ほぼ同様の結果が得られた。それを図2-2～図2-5に示す。

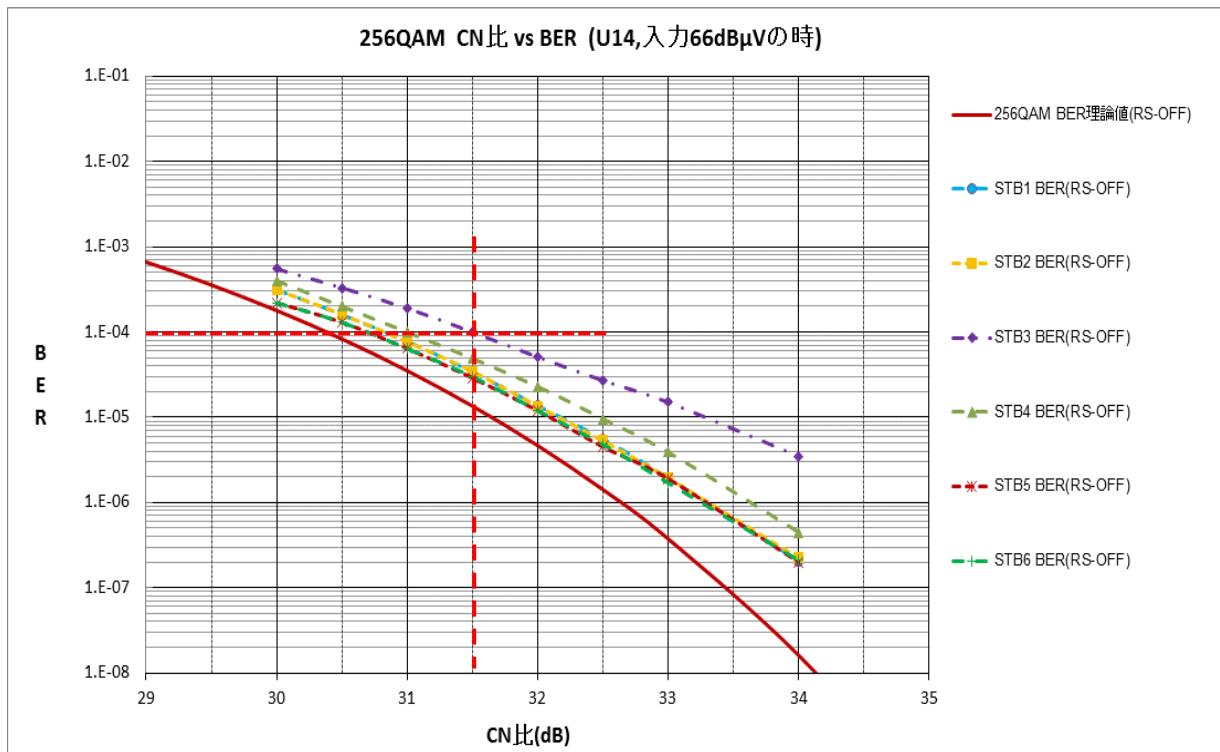


図 2-2 256QAM CN 比対 BER 特性 (U14)、入力レベル 66dBμV の時

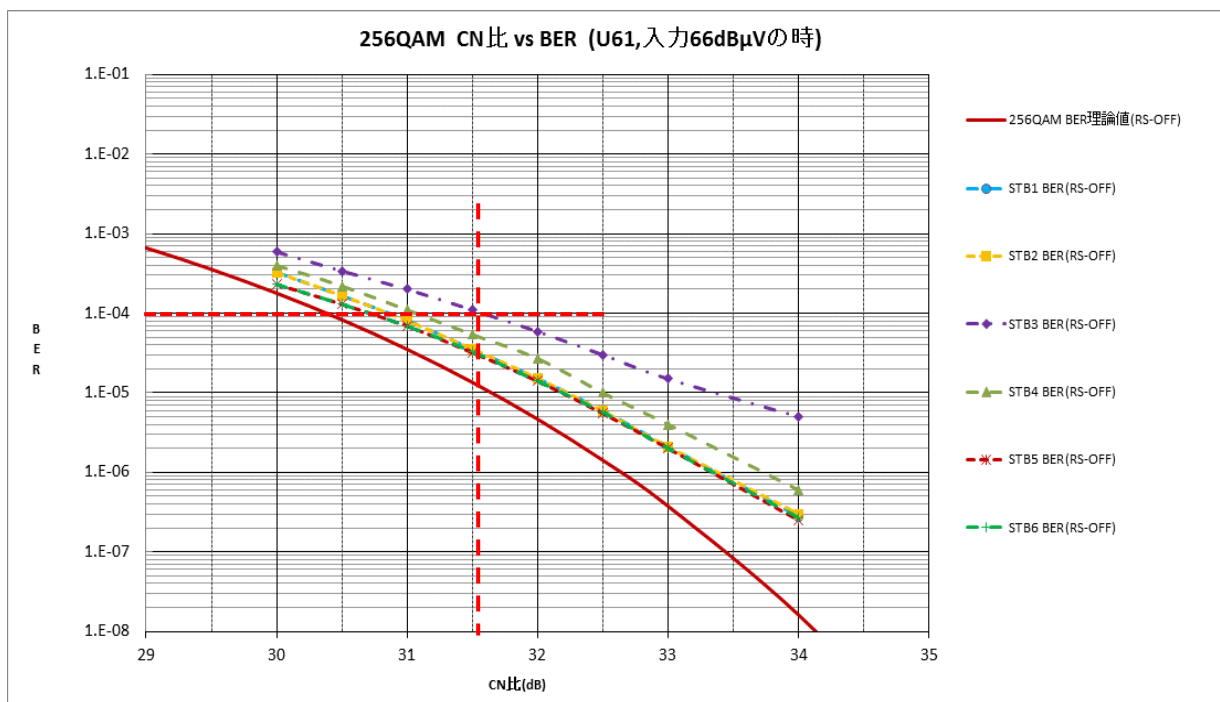


図 2-3 256QAM CN 比対 BER 特性 (U61)、入力レベル 66dBμV の時

標準入力レベル（66dBμV）の時の測定結果である図 2-2 および図 2-3 より、STB の差は、0.9dB 以内に収まっている。

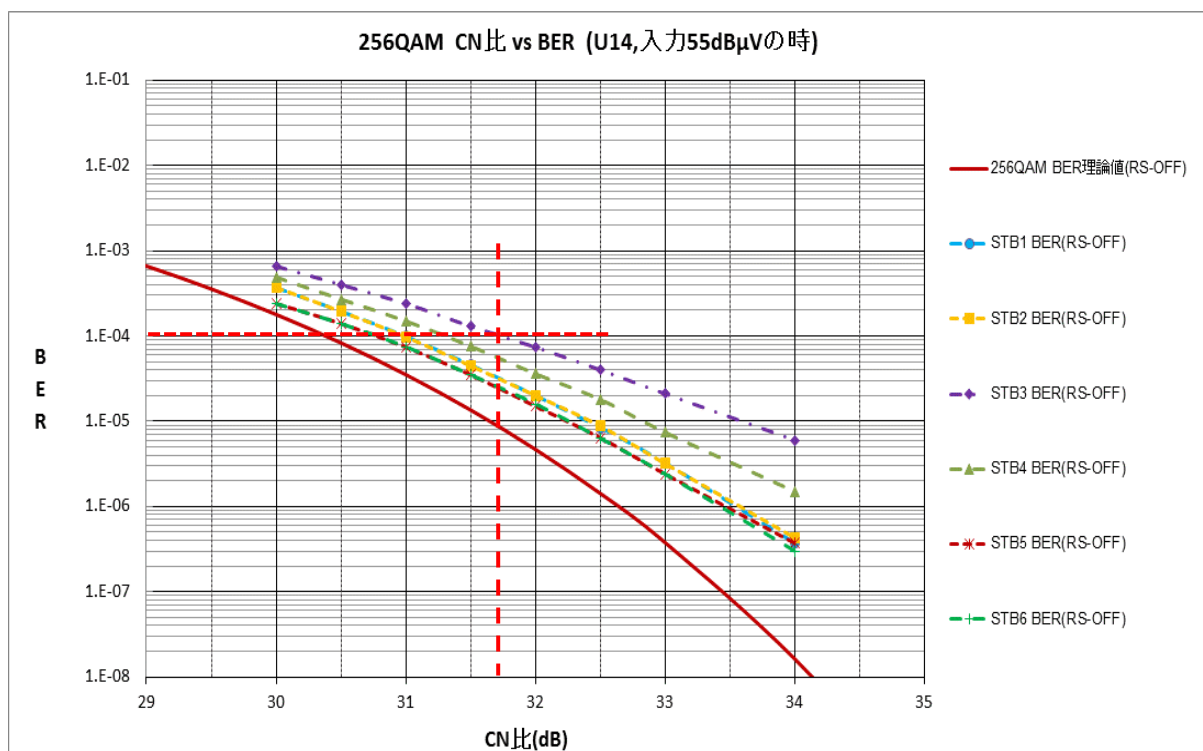


図 2-4 256QAM CN 比対 BER 特性 (U14)、入力レベル 55dB μ V の時

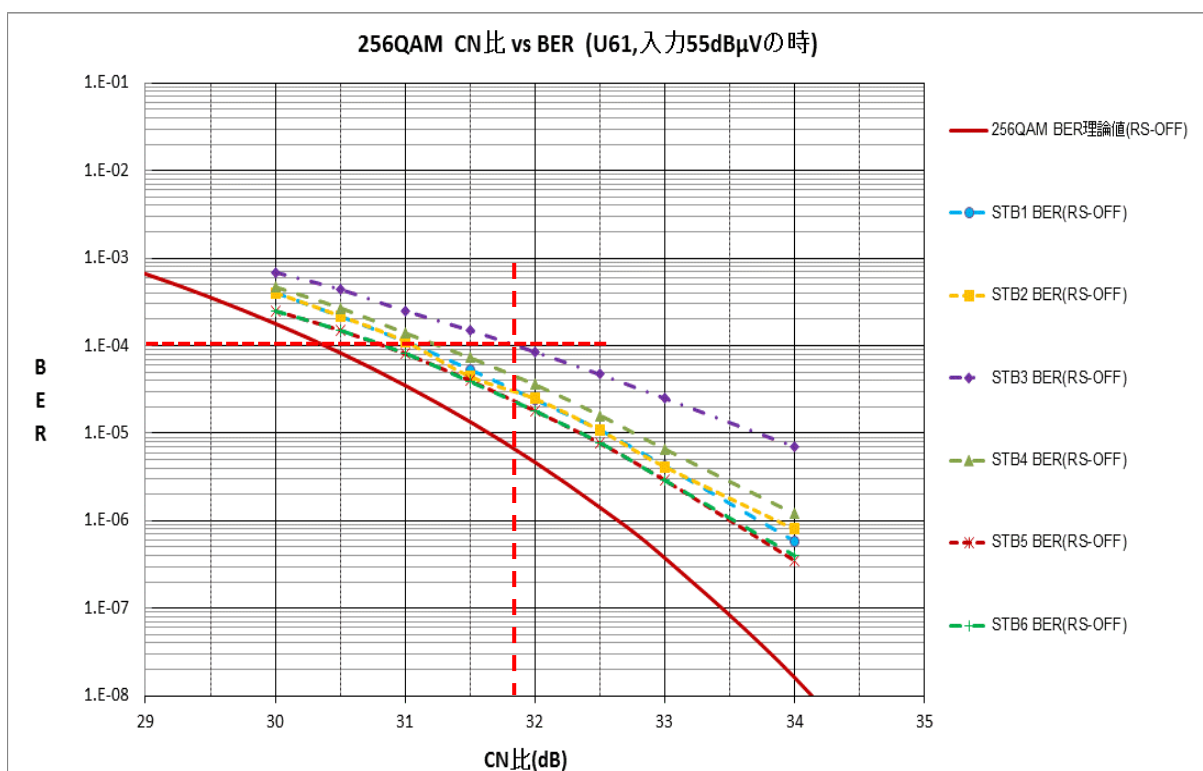


図 2-5 256QAM CN 比対 BER 特性 (U61)、入力レベル 55dB μ V の時

最低入力レベル (55dB μ V) の時の測定結果である図 2-4 および図 2-5 より、STB の差は、1.1dB 以内に収まっている。

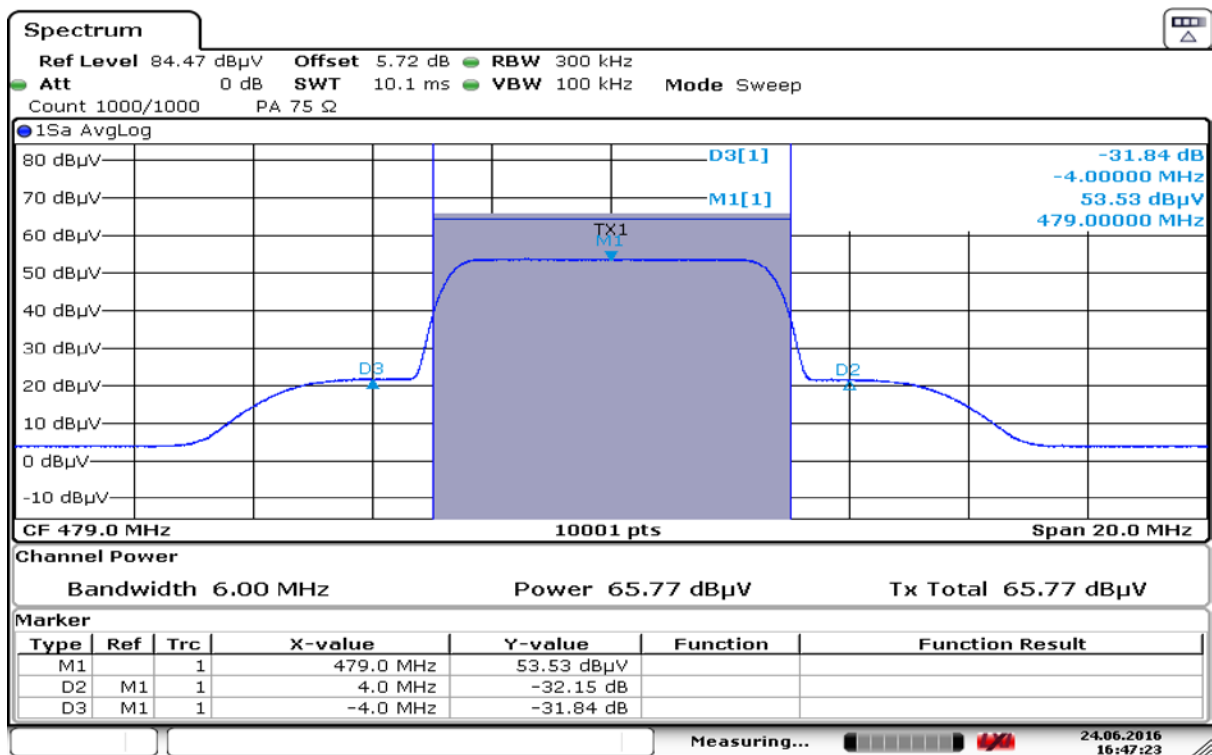
標準入力レベル (66dB μ V) と最低入力レベル (55dB μ V) との差は、0.3dB 以内に収まっている。

2.5 試験結果

測定結果は、RS-OFF 時の BER は絶対同期検波の理論値より最大 1.5dB 以内の劣化範囲にある。

今回測定したSTBのBER (RS-OFF) が 1×10^{-4} 以下となるCN比は、標準入力レベル (66dBμV) のとき、31.6dB 以上のため、チューナのバラツキ等も考慮して、受信者端子における所要 CN 比としては33dB*1とすることが望ましい。

<参考 1> 測定チャンネルのノイズ付加のスペクトラム波形例



Date: 24.JUN.2016 16:47:23

*1：チューナ部の雑音指数および復調部の各バラツキを考慮。

3. 多チャンネル伝送時の 256QAM 信号の CN 比と BER の測定

本試験では、多チャンネルの 256QAM（デジタル有線テレビジョン放送）信号を 110 波伝送した時における 256QAM 信号にガウスノイズが重畳されたときの信号電力（C）とノイズ電力（N）の比に対する BER を複数社の STB で測定する。

3.1 測定系統図

測定系統図を図 3-1 に示す。

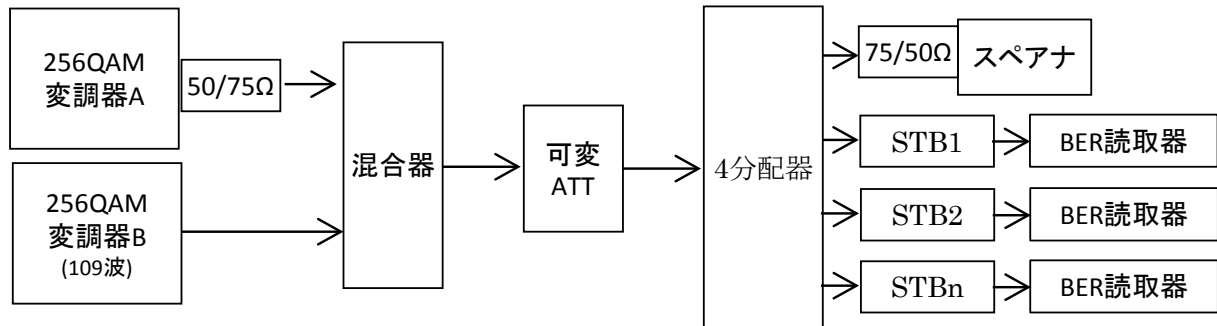


図 3-1 多チャンネル信号時における 256QAM 信号の CN 比と BER 測定の試験系統図

<変調器 A 設定条件>：

出力レベル＝91.5dBμV/479MHz, 92.8dBμV/761MH

（設定 File 名：D:data/256qam-479MHz-160624.savrd）

<変調器 B 設定条件>：

109ch すべて 256QAM(J.83C)、C27 (249MHz) ,U14 (479MHz) ,U61 (761MHz) は OFF

（設定 File 名：J83C/J83C-256QAM-110ch-160624rev1.cfg）

<ATT 設定>：

受信レベル 66dBμV： 479MHz/12.8dB、761MHz/13.0dB

3.2 多チャンネル伝送波形

本試験に使用した多チャンネルの 256QAM 信号を 110 波伝送した時の測定波形を図 3-2 に示す。

測定ファイル：CATV-Allch-CF399MHz.dfl

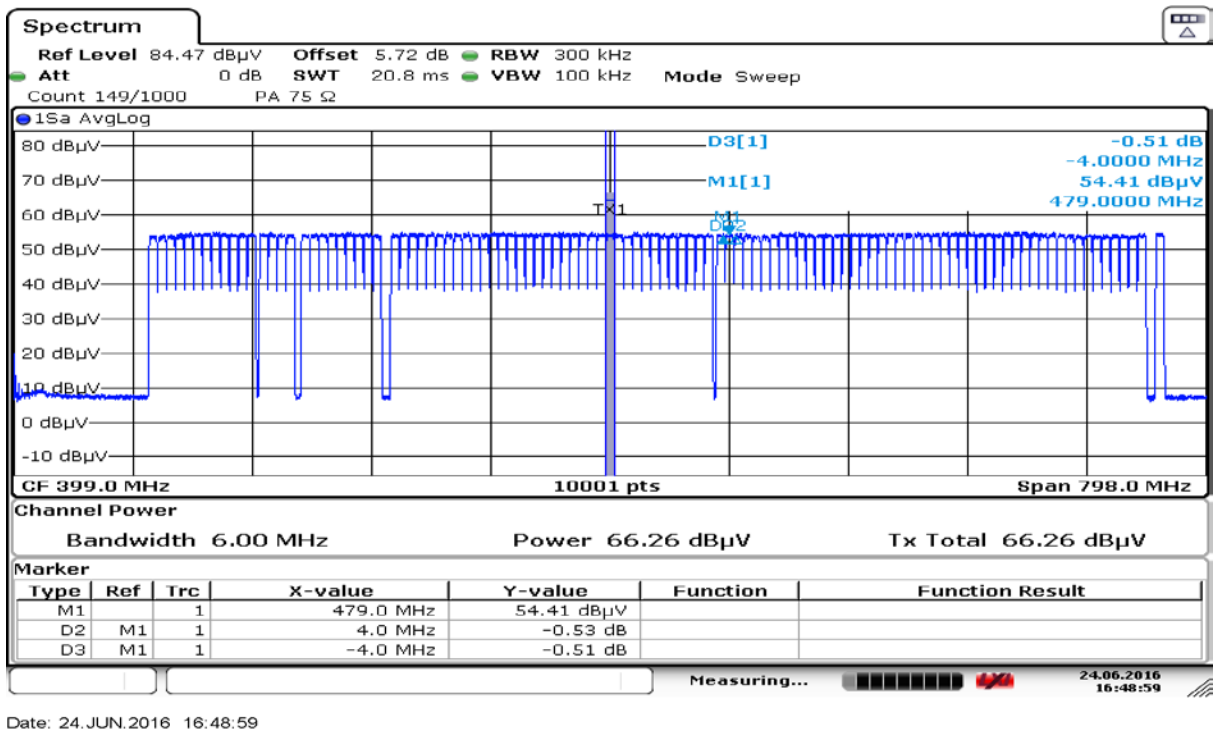
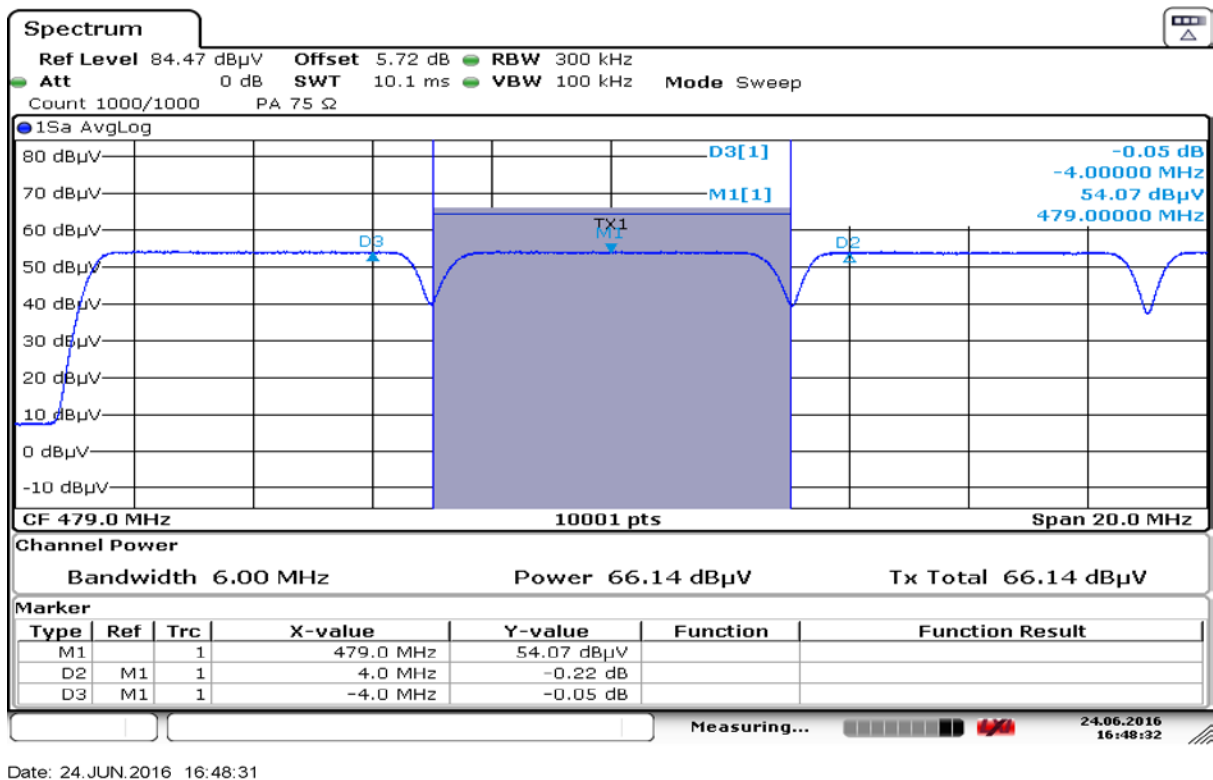


図 3-2 多チャンネル（110 波）信号時における 256QAM 信号試験信号

<参考 2> 測定チャンネル付近のスペクトラム波形例



3.3 BER (RS-OFF) が 1×10^{-4} となる CN 比の測定結果

BER (RS-OFF) が 1×10^{-4} となる CN 比を測定した結果を表 3-1 に示す。

なお、測定条件を表 3-2 に示す。

測定は、標準入力レベル (66dBμV) と最大入力レベル (81dBμV) 及び最低入力レベル (55dBμV) において行う。

表 3-1 BER (RS-OFF) が 1×10^{-4} となる CN 比測定値 (256QAM 110 波の時)

項目	入力レベル	66dBμV	81dBμV	55dBμV
BER (RS前) が 1×10^{-4} となる CN比 (dB) (理論値30.3dB)	STB1	31.1 / 31.1	31.1 / 31.1	31.1 / 31.2
	STB2	31.2 / 31.1	31.1 / 31.1	31.2 / 31.2
	STB3	31.6 / 31.6	31.5 / 31.6	31.7 / 31.8
	STB4	31.2 / 31.2	—注4)	31.3 / 31.4
	STB5	30.9 / 30.8	31.2 / 31.0	30.9 / 31.0
	STB6	30.8 / 30.8	31.0 / 31.0	31.1 / 31.1

注 1) 測定周波数は U14 (479MHz) / U61 (761MHz)

注 2) STB には RS-OFF 時の BER を外部 BER 測定器で測定する機能がないため、
STB の RS-OFF 時の BER としては STB 内部処理で算出した BER 表示値を使用した。

注 3) RS-OFF 時の BER 理論値は、下記の理論式より求めた。

$$\text{絶対同期検波の場合 ; } \text{BER}_{256\text{QAM}} = 15/64 \operatorname{erfc}(C/N / 170)^{1/2}$$

注 4) 測定データが正常ではないと判断したため、このデータは除いた。

表 3-3 CN 比測定条件

測定周波数		U14 (479MHz) / U61 (761MHz)
スペアナ	スパン	20MHz
	分解能帯域幅 (RBW)	100kHz
	映像帯域幅 (VBW)	1kHz
	レベル測定モード	平均値
	検波モード	SAMPLE
	アベレージ機能	1000回
	チャンネルパワー帯域幅	6MHz
多CH (110波) のレベル誤差		±0.5dB以内
測定チャンネルの隣接信号とのレベル差		±0.2dB以内

3.4 測定詳細

測定はU14chおよびU61chで標準入力レベル（66dBμV）と最大入力レベル（81dBμV）及び最低入力レベル（55dBμV）で行い、ほぼ同様の結果が得られた。それを以下に示す。

なお、測定結果は、RS-OFF 時の BER は絶対同期検波の理論値より 1.3dB 以内の劣化範囲にある。

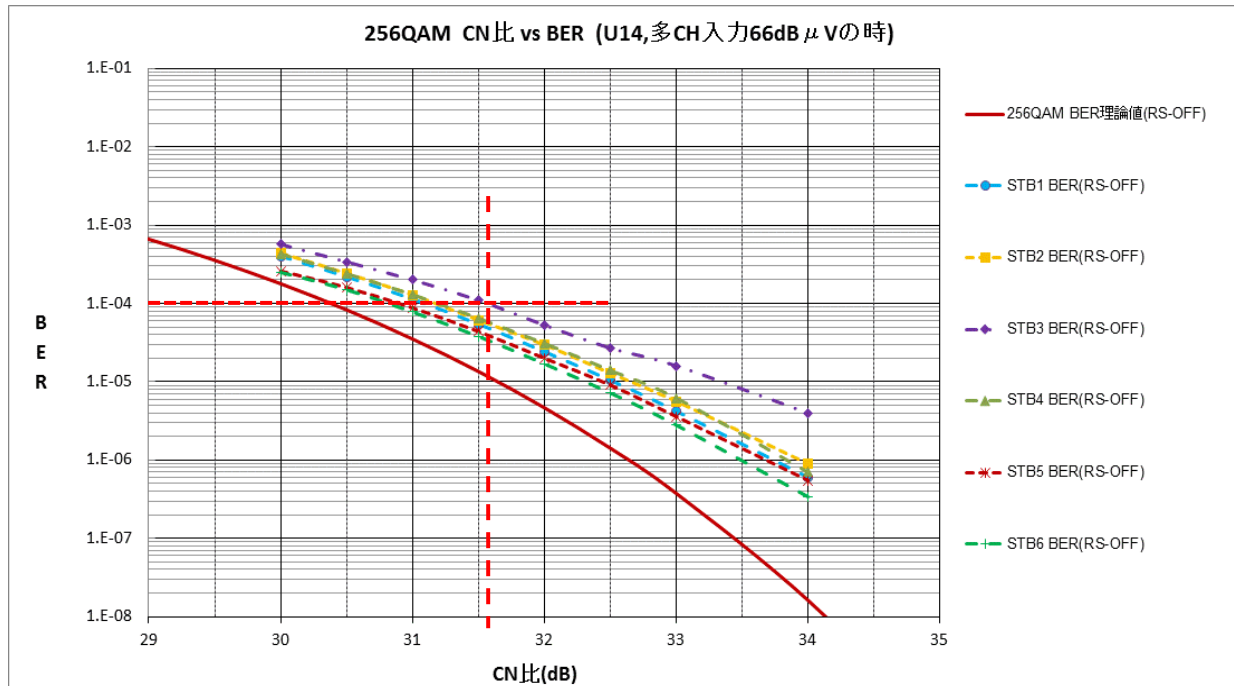


図 3-3 110CH 伝送時における 256QAM CN 比対 BER 特性 (U14)、入力レベル 66dB μ V の時

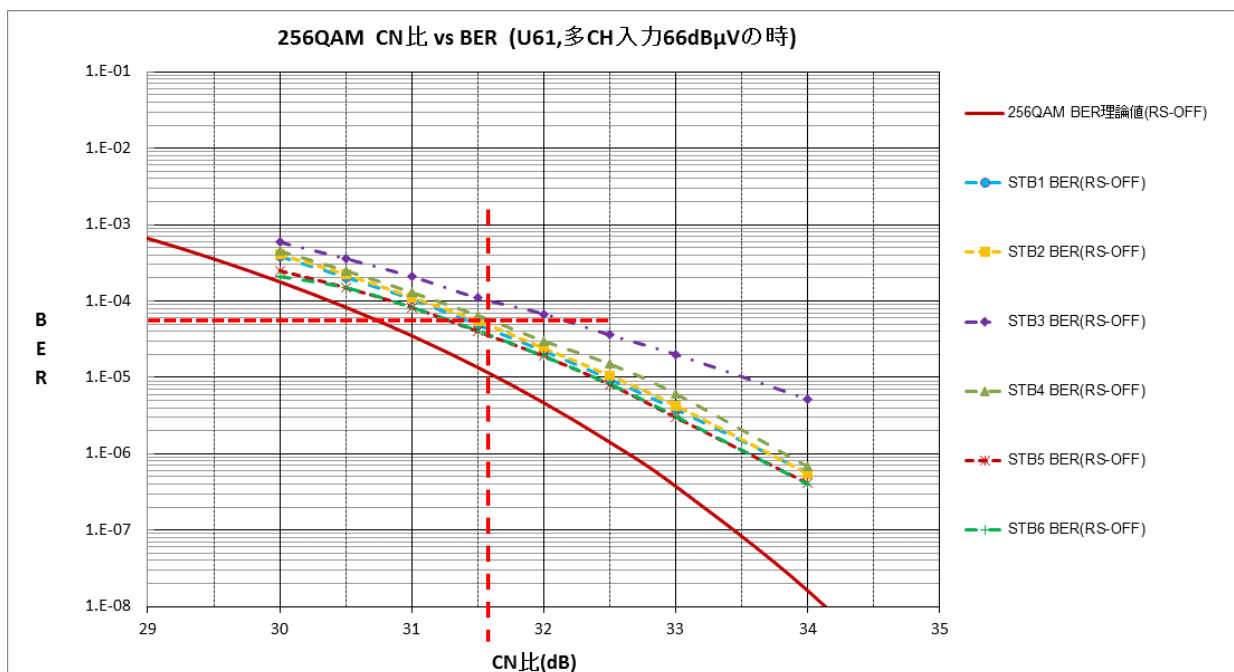


図 3-4 110CH 伝送時における 256QAM CN 比対 BER 特性 (U61)、入力レベル 66dB μ V の時
標準入力レベル（66dB μ V）の時の測定結果である図 3-3 および図 3-4 より、STB の差は、0.8dB

以内に収まっている。

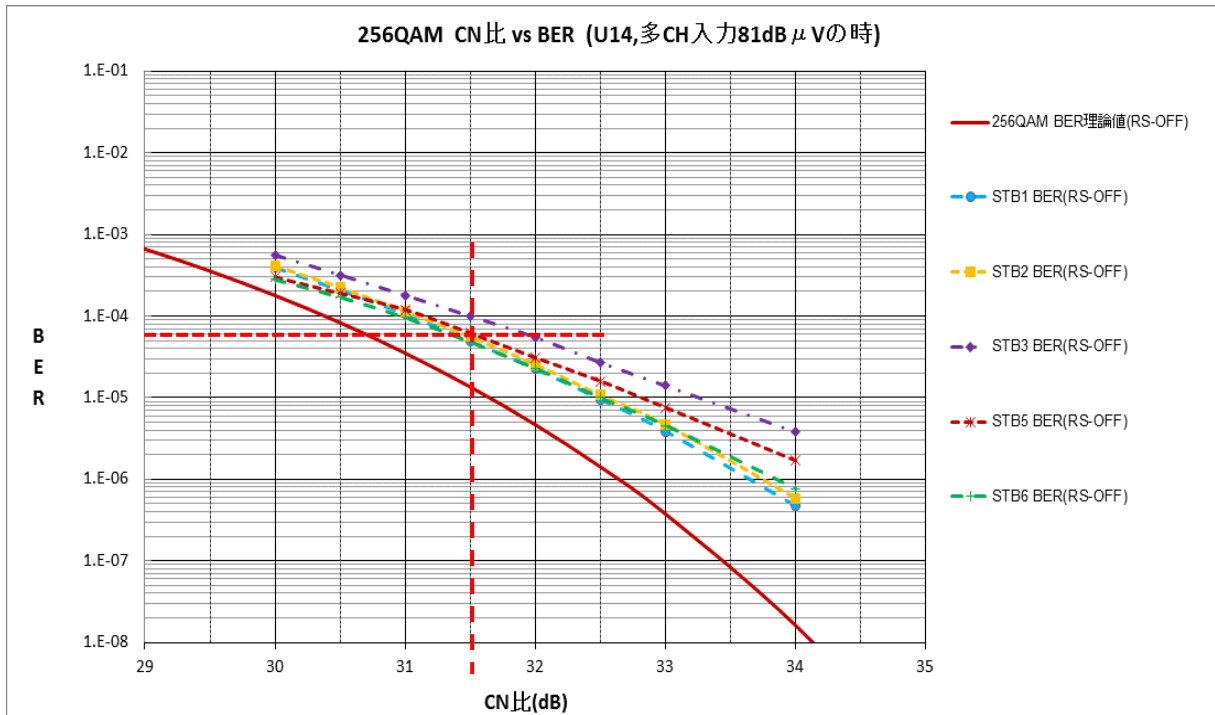


図 3-4 110CH 伝送時における 256QAM CN 比対 BER 特性 (U14)、入力レベル 81dB μ V の時

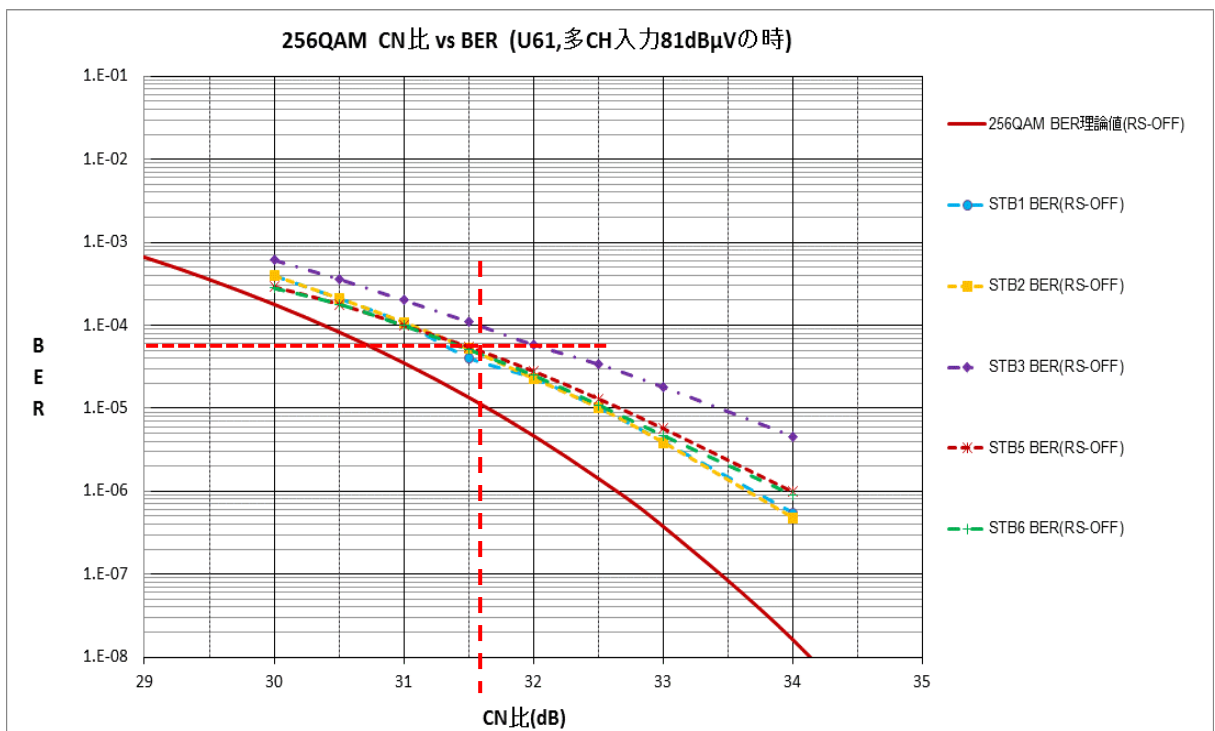


図 3-5 110CH 伝送時における 256QAM CN 比対 BER 特性 (U61)、入力レベル 81dB μ V の時

最大入力レベル (81dB μ V) の時の測定結果である図 3-5 および図 3-6 より、STB の差は、0.6dB 以内に収まっている。

標準入力レベル (66dB μ V) と最大入力レベル (81dB μ V) との差は、0.3dB 以内に収まっている。

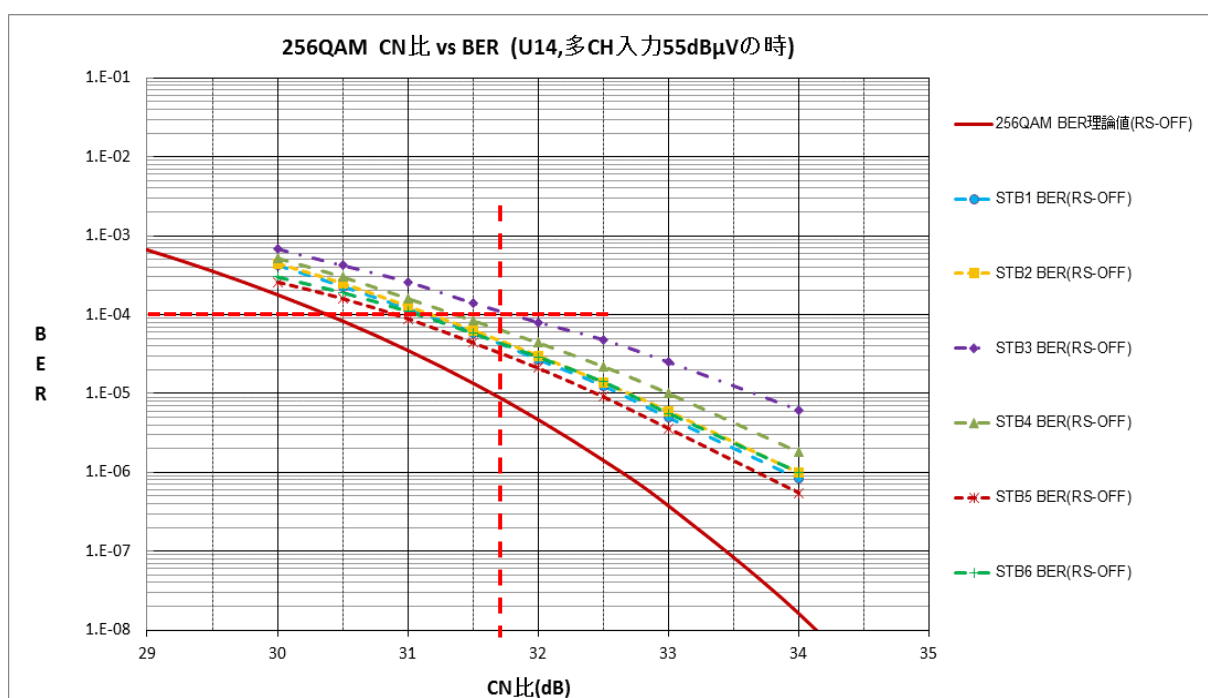


図 3-6 110CH 伝送時における 256QAM CN 比対 BER 特性 (U14)、入力レベル 55dB μ V の時

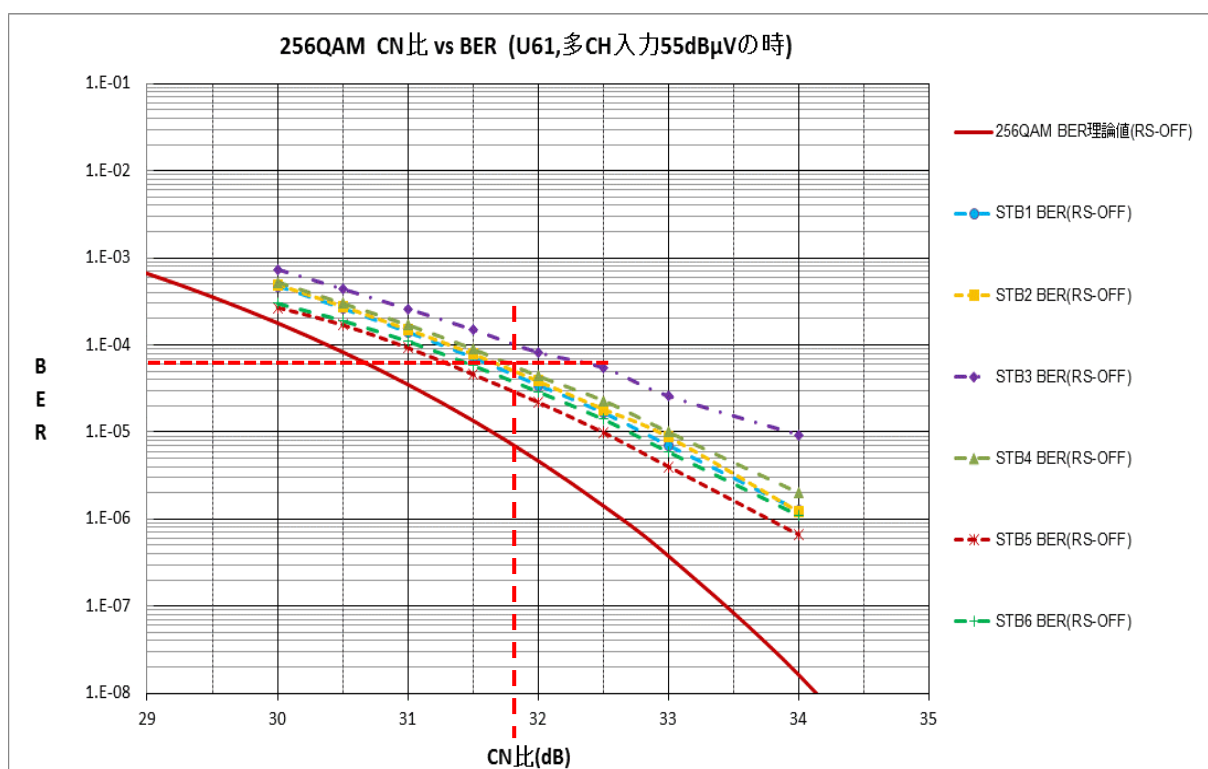


図 3-7 110CH 伝送時における 256QAM CN 比対 BER 特性 (U61)、入力レベル 55dB μ V の時

最低入力レベル (55dB μ V) の時の測定結果である図 3-7 および図 3-8 より、STB の差は 0.8dB 以内に収まっている。

標準入力レベル (66dB μ V) と最低入力レベル (55dB μ V) との差は、0.3dB 以内に収まっている。

4. 変調器の確認

今回、STB の BER/CN 比の測定に使用した変調器 A は測定器用のものであるため、参考にケーブルテレビ事業者向けに販売されている変調器（C 社製）の特性と比較した。

その結果、変調器（C 社製）の周波数特性はほとんどないことが確認でき、上限周波数での比較でも、変調器 A との差は、BER が 1×10^{-4} の時に、約 0.2dB 以内となっている。

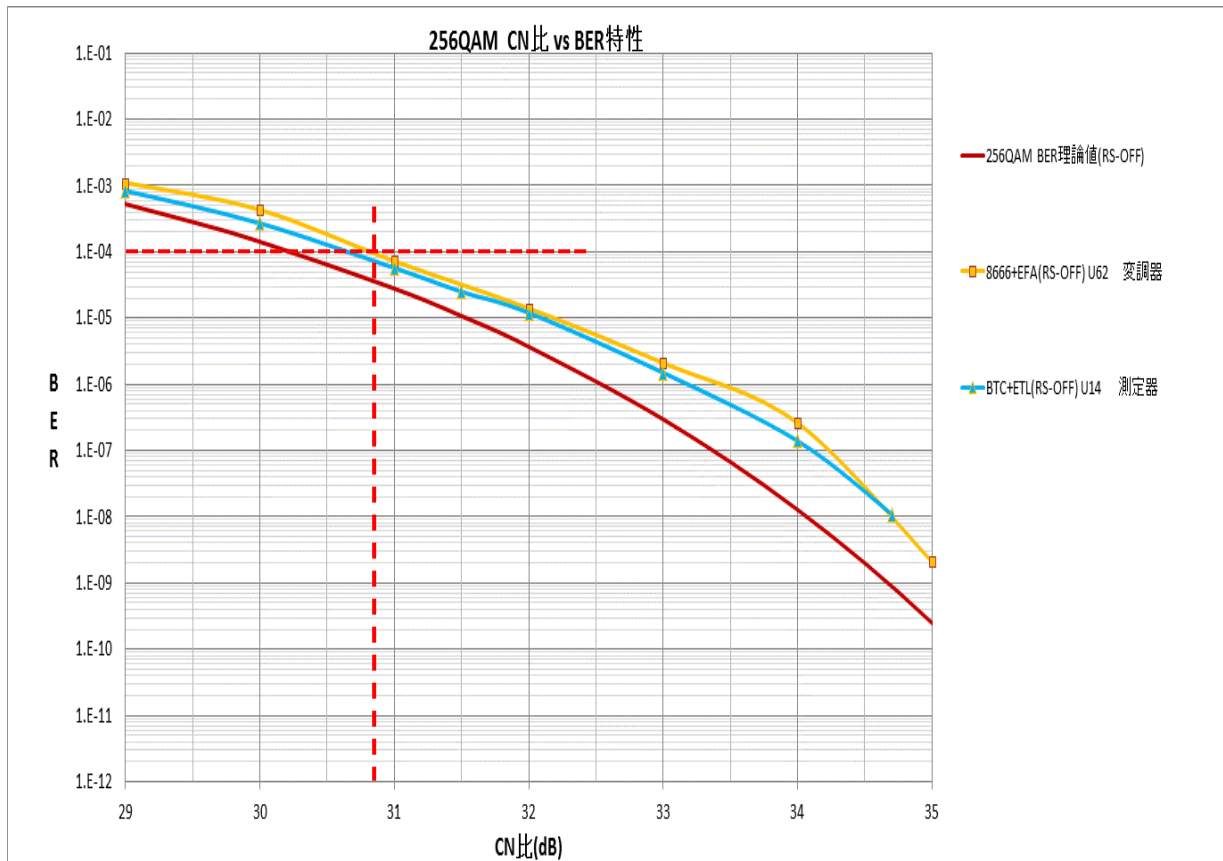


図 4-1 変調器の BER/CN 比特性の比較

5. 関連する品質基準について

所要 CN 比が変更になることで、有線一般放送の品質に関する技術基準（平成 23 年総務省令第 95 号）を見直す必要があると考える。

5.1 所要 CN 比

現在、受信者端子における 256QAM の所要 CN 比は 34dB 以上となっているが、今回の試験結果より 33dB に変更することが望ましい。

5.2 搬送波のレベル

受信者端子における 256QAM の搬送波のレベルは、57～81dB μ V（75 Ω の時）と定められているが、所要 CN 比が 34dB より 33dB に変更になることで、下限値が変更となり、以下の値にすることが望ましい。

尚、下限値は雑音レベル 23dB μ V に所要 CN 比を加えた値となる。

- ・ 56 ～ 81dB μ V（75 Ω の時）

6. 試験日、試験場所及び測定器

試験場所 : 一般社団法人 日本CATV技術協会 7F 会議室

試験日 : 平成 28 年 6 月 28 日 (火)

表 5-1 256QAM スペクトルマスク検証試験の日程と内容

スケジュール		報告書項番と内容	備考
6 月 28 日	午前	-機器設置	
		項 1. 256QAM デジタル有線テレビジョン信号の搬送波帯幅と帯域外輻射レベルの特性	
		項 2. 256QAM 信号の CN 比と BER の測定	
	午後	項 2. 256QAM 信号の CN 比と BER の測定	
		項 3. 多チャンネル伝送時の 256QAM 信号の CN 比と BER の測定	
		-最終レビューの実施	

注) 項 1.搬送波帯幅と帯域外輻射レベルの特性及び、項 4.変調器の確認は、事前測定を実施した。

本試験に使用した測定器等を表 5-2 に示す。

表 5-2 試験に使用した計測器一覧

No	機器名	型式	メーカー名	備考
1	変調器 A	BTC	ローデ・シュワルツ	CN 比測定信号
2	変調器 B	CLG	ローデ・シュワルツ	多 CH 信号
3	スペクトル・アナライザ	FSV	ローデ・シュワルツ	
4	4 分配器	4SPED	マスプロ電工	
5	混合器	2SPED	マスプロ電工	2 分配器
6	可変アッテネータ	TRA-602C	多摩川電子	可変アッテネータ
7	インピーダンス変換器 1	Z7550-FFNM+	Mini-Circuits	トランス型ロス 0.4dB
8	インピーダンス変換器 2	PE7070	Pasternack Enterprises	抵抗型ロス 5.7dB
9	STB1	入力信号分配付き	A 社 2013 年製	JLabs SPEC-018
10	STB2	入力信号分配付き	A 社 2014 年製	JLabs SPEC-018
11	STB3	入力信号分配付き	B 社 2013 年製	JLabs SPEC-018
12	STB4	入力信号分配付き	B 社 2014 年製	SPEC-018 相当品
13	STB5	入力信号分配付き	C 社 2014 年製	JLabs SPEC-018
14	STB6	入力信号分配付き	C 社 2015 年製	JLabs SPEC-018



写真 試験風景

無断転載を禁じます

デジタル有線テレビジョン放送用
受信装置における 256QAM 方式信号の
C/N比実験報告書

発行 2016 年 10 月 11 日

一般社団法人日本CATV技術協会
〒160-0022 東京都新宿区新宿 6-28-8
ラ・ベルティ新宿 6F
電話 : 03-5273-4671 FAX : 03-5273-4675
URL : <http://www.catv.or.jp/>

規格書 STD-007-6.2

256QAM CN 比検討

(STB 入力信号分配回路の有無による所要 CN 比の検討)

平成 30 年 6 月

一般社団法人 日本CATV技術協会

デジタル放送WG

目 次

背景と目的	1
1.. 256QAM 信号における CN 比と BER の測定とその試験結果	1
2.1 256QAM_CN 比実験報告書より、C/N 対 BER の測定結果を表 1 に示す。	1
2.2 試験結果	1
2. 入力信号分配回路の有無による所要 CN 比の検討	1
2.1 被測定 STB の内部構成図	2
2.2 旧 STD-007-6.0 等に定められている標準 STB の構成図	2
2.3 被測定 STB の CN 比から標準 STB への CN 比の計算	2

背景と目的

現在、品質省令の規定は、STB の内部構成として最も基本的なものを前提としている。
他方、今回の試験測定に使用した全ての STB は、内部構成として入力信号の分配回路等を有している。
そのため、得られた測定結果から入力信号の分配回路等を有していない STB における CN 比を机上計算により算出する必要がある。

1.. 256QAM 信号における CN 比と BER の測定とその試験結果

2.1 256QAM_CN 比実験報告書より、C/N 対 BER の測定結果を表 1 に示す。

表 1 BER (RS-OFF) が 1×10^{-4} となる CN 比測定値 (256QAM 1 波の時)

項目	入力レベル	66dB μ V	55dB μ V
BER (RS前) が 1×10^{-4} となる CN比 (dB) (理論値30.5dB)	STB1	30.8 / 30.8	31.0 / 31.1
	STB2	30.8 / 30.8	31.0 / 31.1
	STB3	31.5 / 31.6	31.8 / 31.8
	STB4	31.0 / 31.0	31.3 / 31.3
	STB5	30.7 / 30.7	30.7 / 30.8
	STB6	30.7 / 30.7	30.7 / 30.8

2.2 試験結果

測定結果は、RS-OFF 時の BER は絶対同期検波の理論値より最大 1.5dB 以内の劣化範囲にある。
今回測定した STB の BER (RS-OFF) が 1×10^{-4} 以下となる CN 比は、標準入力レベル (66dB μ V) のとき、31.6dB 以上のため、チューナの個体差等も考慮して、受信者端子における所要 CN 比としては 33dB*¹とすることが望ましい。

2. 入力信号分配回路の有無による所要 CN 比の検討

現在市場で使われている STB は、入力信号を STB 内部で分配し、その分配出力の一部をテレビジョン等の外部機器に接続する為の「入力信号分配回路」を内蔵している。

今回、CN 比を測定した STB は、全てこの構成と成っていた為、ここで得た所要 CN 比をこれまでの標準 STB にそのままあてはめる事は出来ない為、STB の内部構成を確認し、格段の信号品質を計算する事により、標準 STB の所要 CN 比の検討を行った。

2.1 被測定 STB の内部構成図

測定した STB1～5 の内部構成図は、細部を除き以下の構成（図 1）から成っている。

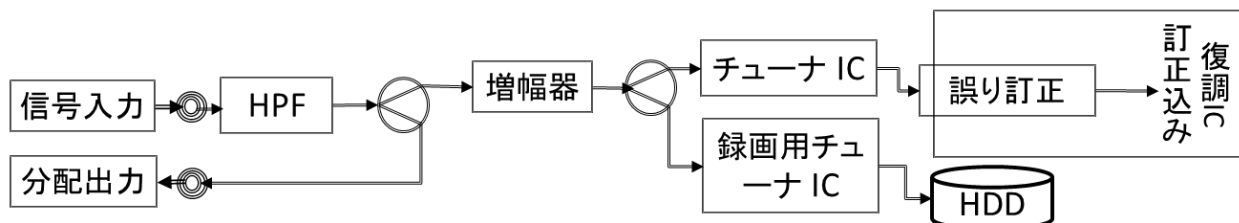


図 1 被測定 STB の内部構成図

2.2 旧 STD-007-6.0 等に定められている標準 STB の構成図

規格書 STD-007-1.0～6.0 及び品質省令は、入力信号分配機能の無い構成（図 2）から成っている。

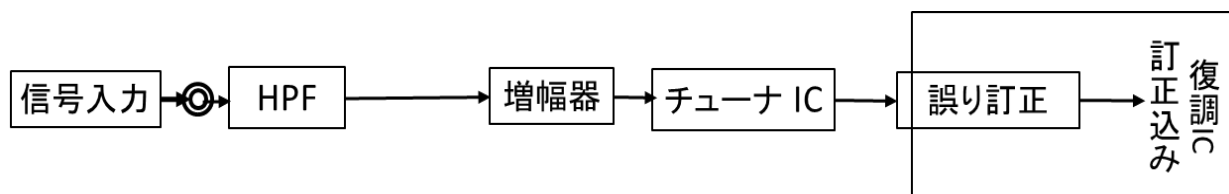


図 2 標準 STB の内部構成図

2.3 被測定 STB の CN 比から標準 STB への CN 比の計算

CN 比の計算は、以下式を用いて、内部構成格段の利得等を入力し、復調 IC への信号を計算した。

$$\text{CN 比計算式} = C_{no} = \frac{P_{si}}{(P_{si}/C_{ni}) + kTB(F-1)}$$

ここで、

- ・ C_{no} : 出力 C/N [倍]
- ・ C_{ni} : 入力 C/N [倍]
- ・ P_{si} : 入力レベル [W]
- ・ k : ボルツマン定数 $1.38 \times 10^{-23} [\text{J/K}]$
- ・ T : STB 内周囲温度 $316 [\text{K}] = 43^\circ\text{C}$ で計算
- ・ B : 帯域幅 $5.274 \times 10^6 [\text{Hz}]$
- ・ F : NF（雑音指数） [倍]

とする。

2.3.1 分配機能有り STB による 256QAM C/N 劣化検討 (STB 個体差含む)

内部回路を以下の図 3 のブロックとして、復調 IC 前の C/N を算出し、その結果を表 2 に示す。

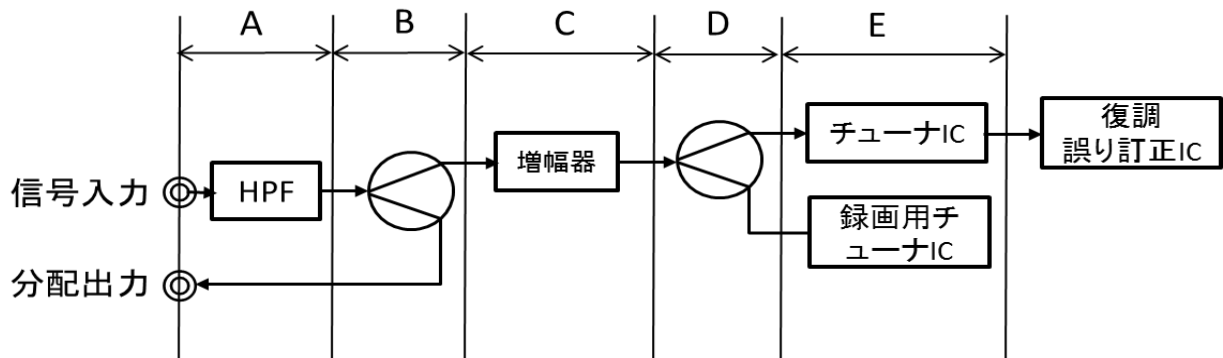


図 3

表 2

製品分類	項目	A	B	C	D	E	全体の雑音指数	出力C/N (復調誤り訂正ICの入力C/N)
ノーマル品	利得	-1	-4	12	-4	-		31.71
	雑音指数	1	4	4	4	4	5.5	
ワースト品	利得	-2	-5	10	-5	-		31.17
	雑音指数	2	5	5	5	8	7.7	
個体差によるC/N劣化度								0.54

※単位は dB

※出力 C/N は入力レベル 55dBμV、入力 C/N=32dB で計算

この結果、分配機能ありの測定値は C/N=31.8dB (入力レベル 55dBμV、ノーマル品)。分配機能ありの個体差による CN 比劣化度の計算値は 0.54dB で、分配機能ありのワースト C/N は 31.8+0.54dB=32.34dB となり、分配機能ありの規格値は C/N=33dB が妥当である。

2.3.2 分配機能無し STB による 256QAM C/N 劣化検討 (STB 個体差含む)

2.3.1 と同様に、図 4 をもとに、C/N 値を算出し、その結果を表 3 に示す。

図 4

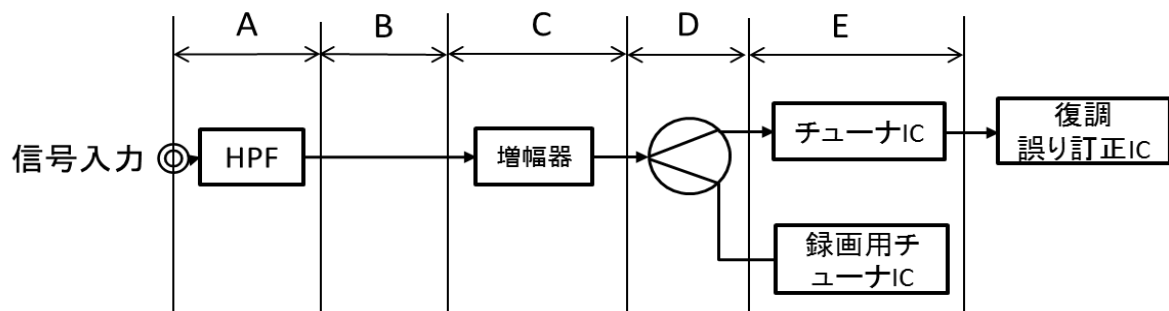


表 3

製品分類	項目	A	B	C	D	E	全体の 雑音指数	出力C/N (復調誤り訂正 ICの入力C/N)
ノーマル品	利得	-1	0	12	-4	-		31.90
	雑音指数	1	0	4	4	4	9.5	
ワースト品	利得	-2	0	10	-5	-		31.74
	雑音指数	2	0	5	5	8	13.7	
個体差によるC/N劣化度								0.16

※単位は dB

※出力 C/N は入力レベル 55dB μ V、入力 CN 比=32dB で計算

この結果、分配機能ありと分配機能なしの出力 C/N 差を計算すると、 $31.9-31.71=0.19\text{dB}$ で分配なしの方が C/N 劣化度が少ない。分配機能ありの測定値は C/N=31.8dB（入力レベル 55dB μ V、ノーマル品）で、分配機能ありの測定値から分配機能なしの C/N を計算すると、 $C/N=31.8-0.19=31.61\text{dB}$ となる。分配機能なしの個体差による C/N 劣化度の計算値は 0.16dB で、分配機能なしのワースト C/N は $31.61+0.16\text{dB}=31.77\text{dB}$ となり、規格値は C/N=32dB が妥当である。

2.3.3 分配機能有り STB による 64QAM C/N 劣化検討 (STB 個体差含む)

参考として、64QAM 信号に対して、分配機能の有無で CN 比の規格値の見直しが必要か検討し、分配機能有りの STB の値を算出し、その結果を表 4 に示す。

表 4

製品分類	項目	A	B	C	D	E	全体の 雑音指数	出力C/N (復調誤り訂正 ICの入力C/N)
ノーマル品	利得	-1	-4	12	-4	-		25.71
	雑音指数	1	4	4	4	4	5.5	
ワースト品	利得	-2	-5	10	-5	-		25.17
	雑音指数	2	5	5	5	8	7.7	
個体差によるC/N劣化度								0.54

※単位は dB

※出力 C/N は入力レベル 49dB μ V、入力 C/N=26dB で計算

この結果、分配機能ありの規格値は、C/N=25.27dB（入力レベル 49dB μ V、ノーマル品）。分配機能ありの個体差による C/N 劣化度の計算値は 0.54dB で、分配機能ありのワースト C/N は、 $25.27+0.54\text{dB}=25.81\text{dB}$ となり、分配機能ありの規格値は C/N=26dB が妥当である。

2.3.4 分配機能無し STB による 64QAM C/N 劣化検討 (STB 個体差含む)

2.3.3 と同様に、分配機能無しの STB の値を算出し、その結果を表 5 に示す。

表 5

製品分類	項目	A	B	C	D	E	全体の 雑音指数	出力C/N (復調誤り訂正 ICの入力C/N)
ノーマル品	利得	-1	0	12	-4	-		25.90
	雑音指数	1	0	4	4	4	9.5	
ワースト品	利得	-2	0	10	-5	-		25.74
	雑音指数	2	0	5	5	8	13.7	
個体差によるC/N劣化度								0.16

※単位は dB

※出力 C/N は入力レベル 49dBμV、入力 C/N=26dB で計算

この結果、分配機能ありと分配機能なしの出力 C/N 差を計算すると、 $25.9-25.71=0.19\text{dB}$ で分配なしの方が C/N 劣化度が少ない。分配機能ありの測定値は C/N=25.27dB (入力レベル 49dBμV、ノーマル品) で、分配機能ありの測定値から分配機能なしの C/N を計算すると、 $C/N=25.27-0.19=25.08\text{dB}$ となる。分配機能なしの個体差による C/N 劣化度の計算値は 0.16dB で、分配機能なしのワースト C/N は $25.08+0.16\text{dB}=25.24\text{dB}$ となり、規格値は C/N=26dB が妥当である。

規格書 STD-007-6.2
256QAM CN 比検討
(STB 入力信号分配回路の有無による
所要 CN 比の検討)

2018 年 6 月
一般社団法人日本CATV技術協会
〒160-0022 東京都新宿区新宿 6-28-8
ラ・ベルティ新宿 6F
電話 : 03-5273-4671 FAX : 03-5273-4675
URL : <http://www.catv.or.jp/>

付属5 テレビジョンサービスにおける HEVC 規格の運用ガイドライン

第1章 一般事項

1.1 目的

本運用ガイドラインは、デジタルテレビジョンサービスにおける映像信号と映像符号化方式に関し、実運用において推奨される HEVC 規格の技術的条件を示すことを目的とする。

1.2 適用範囲

本運用ガイドラインは、「標準テレビジョン放送等のうちデジタル放送に関する送信の標準方式」(省令)に準拠するテレビジョンサービスの映像信号のうち HEVC 規格によるものについて適用する。

1.3 引用文書

1.3.1 準拠文書

- (1) Rec. ITU-T H.265 (2018) | ISO/IEC 23008-2:2017 - Information technology -- High efficiency coding and media delivery in heterogeneous environments -- Part 2: High efficiency video coding (以下「HEVC 規格」という。)
- (2) Rec. ITU-T H.222.0 (2017) | ISO/IEC 13818-1:2018 - Information technology -- Generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems (以下「MPEG-2 Systems 規格」という。)
- (3) ISO/IEC 23008-1:2017 - Information technology -- High efficiency coding and media delivery in heterogeneous environments -- Part 1: MPEG media transport (MMT) (以下「MMT 規格」という。)
- (4) ARIB 標準規格 STD-B60 1.11 版(2018) : デジタル放送における MMT によるメディアトランスポート方式

1.4 用語

1.4.1 HEVC 規格の略語

AU	Access Unit
AUD	AU Delimiter
BLA	Broken Link Access
CABAC	Context-based Adaptive Binary Arithmetic Coding
CB	Coding Block
CBR	Constant Bit Rate

CRA	Clean Random Access
CPB	Coded Picture Buffer
CTB	Coding Tree Block
CTU	Coding Tree Unit
CU	Coding Unit
CVS	Coded Video Sequence
DCT	Discrete Cosine Transform
DPB	Decoded Picture Buffer
DST	Discrete Sine Transform
EOB	End of Bitstream
EOS	End of Sequence
HRD	Hypothetical Reference Decoder
IDR	Instantaneous Decoding Refresh
IRAP	Intra Random Access Point
LP	Leading Picture
NAL	Network Abstraction Layer
NALU	NAL Unit
PB	Prediction Block
POC	Picture Order Count
PPS	Picture Parameter Set
PU	Prediction Unit
RADL	Random Access Decodable Leading
RASL	Random Access Skipped Leading
RBSP	Raw Byte Sequence Payload
RPS	Reference Picture Set
SAO	Sample Adaptive Offset
SEI	Supplemental Enhancement Information
SOP	Structure of Pictures
SPS	Sequence Parameter Set
STSA	Step-wise Temporal Sub-layer Access
TB	Transform Block
TP	Trailing Picture
TSA	Temporal Sub-layer Access
TU	Transform Unit
VBR	Variable Bit Rate

VCL	Video Coding Layer
VPS	Video Parameter Set
VUI	Video Usability Information
WPP	Wavefront Parallel Processing

1.4.2 MPEG-2 Systems 規格の略語

CA	Conditional Access
CAT	Conditional Access Table
DTS	Decoding Time-Stamp
ECM	Entitlement Control Message
EMM	Entitlement Management Message
ES	Elementary Stream
GOP	Group of Pictures
NIT	Network Information Table
PAT	Program Association Table
PES	Packetized Elementary Stream
PID	Packet Identifier
PMT	Program Map Table
PSI	Program Specific Information
PTS	Presentation Time-Stamp
TS	Transport Stream
TMCC	Transmission & Multiplexing Configuration Control

1.4.3 MMT 規格の略語

AIT	Application Information Table
AMT	Address Map Table
AL-FEC	Application Layer Forward Error Correction
BIT	Broadcaster Information Table
CA	Conditional Access
CDT	Common Data Table
CRI	Clock Relation Information
CRID	Content Reference Identifier
DCI	Device Capability Information
ECM	Entitlement Control Message
EIT	Event Information Table

EMM	Entitlement Management Control
GFD	Generic File Delivery
HRBM	Hypothetical Receiver Buffer Model
LCT	Layout Configuration Table
LDT	Linked Description Table
MFU	Media Fragment Unit
MMT	MPEG Media Transport
MMTP	MMT Protocol
MPI	Media Presentation Information
MPT	MMT Package Table
MPU	Media Processing Unit
NIT	Network Information Table
PA	Package Access
PLT	Package List Table
SDT	Service Description Table
SDTT	Software Download Trigger
TLV	Type Length Value
URL	Uniform Resource Locator

表 4-20 Recovery point SEI パラメータ

シンタックス要素	値	説明
recovery_poc_cnt	0	Recovery point SEIを付加したAU及び表示順で後のAUの正常復号を保証する
exact_match_flag	1	Recovery point SEIを付加したAU及び表示順で後のAUの正常復号を保証する
broken_link_flag	0	直前IRAP AUから復号を開始しても、復号異常は発生しない

(解説)

CBR 動作を許容する。Filler 挿入は Filler SEI の利用と、Filler NALU の利用、の二通りがあるが、後者のみ可能とする。

EOB は、特に使用する理由が無いため、使用禁止とする。

PPS NALU の付加方法は、HEVC 規格に準じるものとする。一つの AU に付加される PPS は 0 個もしくは複数個でも良い。HEVC 規格が PPS の誤り耐性機能を有しており、特に制約を加えなくても受信機側は確実に復号することが期待できる。ただし、受信機側のメモリを不必要に大きくしないために、pps_pic_parameter_set_id の範囲を制限する。

4.7 遅延時間に関する制約

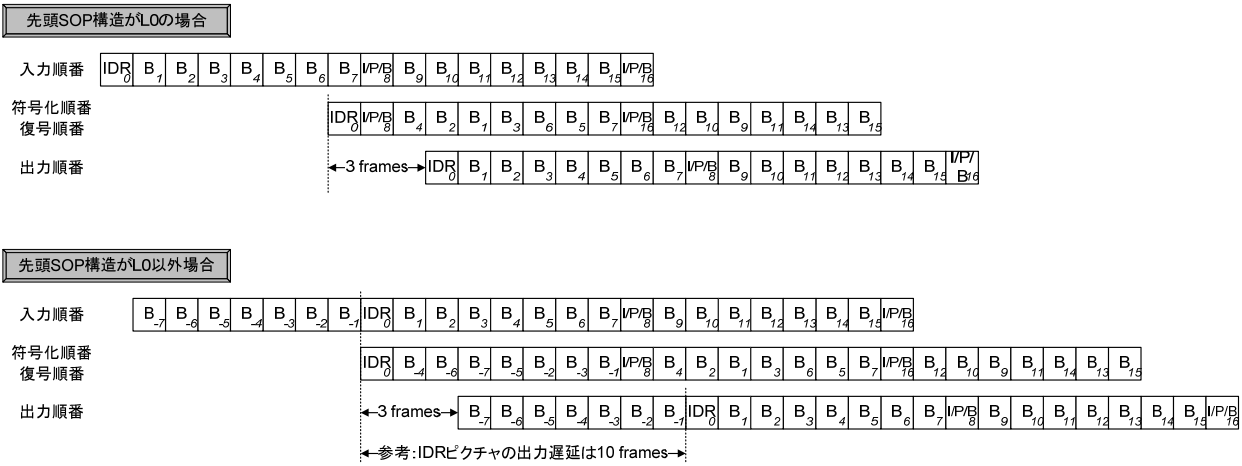
表 4-21 に示す制約を設ける。

表 4-21 遅延時間に関する制約

項目	制約
IRAP AU間隔 RPSEI挿入間隔 (フィールド符号化の場合)	原則32/60秒以内、最大1.0秒
CPBサイズ	1.0R [bit]以内とする。(Rは最大ビットレート)
CPB遅延	AuNominalRemovalTime[0]を0.5秒以下にする。
最大DPBサイズ	sps_max_dec_pic_buffering_minus1は、フレーム符号化時には5以下、フィールド符号化時には11以下とする。

(解説)

本運用ガイドラインの「表示遅延」とは、復号開始 AU の復号時刻と、最初に表示される AU の表示時刻との差 (単位はフレーム時間) と定義する (図 4-8 参照)。CVS 先頭 SOP の構造によらず、「表示遅延」は sps_max_num_reorder_pics に等しくなる。(順次走査画像の場合は 1/2 した値)



第六編

地上デジタルテレビジョン放送 IP 再送信 通信運用規定

時間以上経過している場合に取得することが望ましい。

なお、ライセンス更新通知情報取得に関わる十分な時間は 15 秒とする。15 秒たっても応答のない場合の処理は実装依存とするが、一定間隔をおき数回リトライすることが望ましい。また、ユーザーによる手動取得・更新の際にリトライを実施するも情報取得要求が出来なかった場合は、ユーザーへ通知画面等を表示することが望ましい。

7 通信品質の実現

7.1 ストリーミング品質

ストリーミング配信では、ネットワーク上でのパケットロスや非同期型通信によるクロックズレが映像・音声の乱れ等を招く恐れがある。よって、サービス事業者および受信機は長期間の安定した再生を実現するために次に示すストリーミング品質向上のための実装を行うことが望ましい。

なお、長期間の安定した再生の実現とは、輻輳のない定常状態にて受信機が 1 週間程度安定してパケットロスのない TS ストリームを受信することと想定する。

7.1.1 FEC

ネットワーク上でパケットロスが発生した場合、映像や音声に乱れを生じたりするため、パケットロスへの対処が必要であり、FEC を用いてパケットの復元を行う必要がある。

送信側および受信機はそれぞれ FEC に対応することが可能であり、送受信で同一の FEC を用いた際に FEC を利用することが可能である。なお、FEC の搭載に関してはオプション扱いとする。

受信機に FEC を搭載する場合には基本的に RFC2733 およびその拡張に従うものとし、本運用規定においては Pro-MPEG FEC Code of Practice #3 release2 (以降、Pro-MPEG FEC) を採用する。ただし、送出側、受信側ともに縦方向 FEC パケット (7.1.1.5 項参照) のみしか処理しない実装 (以降、Pro-MPEG 1D FEC) も許容する。また、サーバ側にて Pro-MPEG FEC において横方向 FEC パケット (7.1.1.5 「Pro-MPEG FEC の運用規定」参照) まで含め 2 次元にて運用する場合 (以降、Pro-MPEG 2D FEC) はもとより、さらには本運用規定において現在規定していない他の FEC 方式を採用する場合においても、FEC 非搭載の受信機においても受信が可能ないようにメディアパケットと FEC パケットのポートを分離して送受信できる FEC 方式を用いることとする。この場合、FEC 非搭載の受信機は FEC パケットを無視し、メディアパケットのみを受信すればよい。以降、FEC の手順について説明する。

なお、サービス事業者は、長期間の安定した再生を実現するストリームを伝送するため、利用する通信ネットワークの品質を考慮し、必要に応じて Pro-MPEG 1D FEC 以上の実装を行うとともに、受信機も、Pro-MPEG 1D FEC を搭載することを推奨する。

7.1.1.1 FEC保護処理の方法

図 7-1は、IPレイヤにおけるメディアパケットとFECパケットの構造である。

メディアパケット



FECパケット

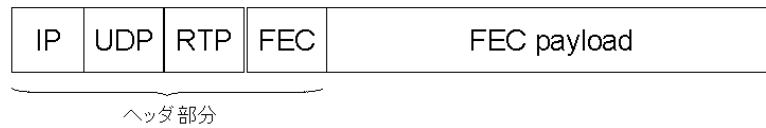


図 7-1 メディアパケットと FEC パケットの構造

保護対象のメディアパケットに対し、RTPヘッダの参照ならびに演算を行うことでFECヘッダ、FECペイロードを生成する。

RFC2733で定義されたFECヘッダの構成図を図 7-2に示す。

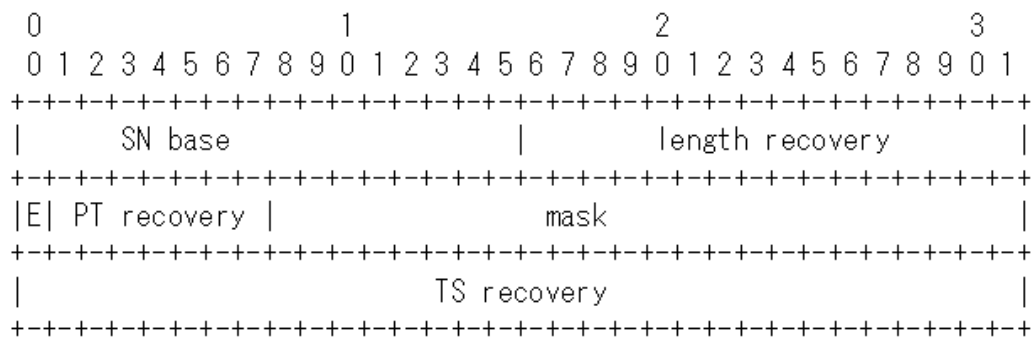


図 7-2 FEC ヘッダの構成図

FECヘッダの生成方法は以下の通りである。

- SN base(16bits) : FEC で保護される RTP パケットの最小シーケンス番号。
- Length recovery(16bits):FEC で保護される RTP パケット長の XOR 値。
パケットを復元する際に、復元するパケットのパケット長の計算に用いる。
- E(1bit) : ヘッダ拡張のためのビット。通常 0。FEC ヘッダを拡張する際に 1 とする。
- PT recovery(7bits) : RTP ヘッダのペイロードタイプの XOR 演算結果。
- Mask(24bits) : FEC で保護される RTP パケットを示すフラグ。
シーケンス番号。N+i が保護対象のとき、i 番目のビットを 1 にする。
- TS recovery(32bits) : RTP ヘッダの TimeStamp 値の XOR 演算結果。

FECペイロードの生成は、メディアパケットのRTPヘッダから特定フィールド、ペイロード、(もしあれば)0でのパディングを連結し、生成されたbit stringに対しXOR演算を行うことにより実現される。ここで生成されたbit stringはFECパケット生成に使用され、FEC bit stringと呼ばれる。

bit string生成のために連結する値は以下の通りである。

- Padding Bit (1 bit)
- Extension Bit (1 bit)
- CC bits (4 bits)
- Marker bit (1 bit)
- Payload Type (7 bits)
- Timestamp (32 bits)
- CSRC List、ヘッダ拡張部分、ペイロード、パディングのトータル長さ(16bits)
- もし CC が 0 でない場合、CSRC List (可変長)
- もし X が 1 の場合、Header Extension (可変長)
- ペイロード (可変長)
- もし、ある場合はパディング (可変長)

各メディアパケットに対し、上記の値を連結した上でXOR演算をかけることによりFECペイロードが生成できる。FECパケット生成の概念図を図 7-3に示す。

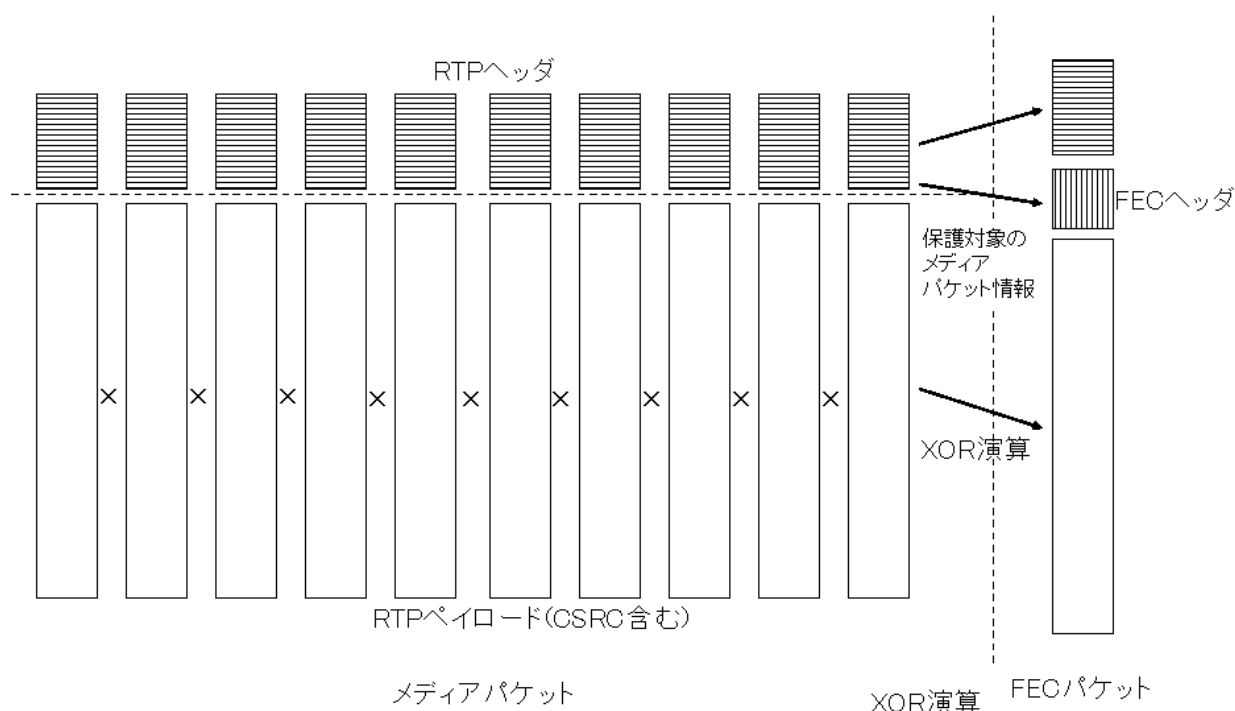


図 7-3 FEC パケット生成の概念図

FECパケットのストリームは、FEC機能を搭載していない受信機でも同じストリームを受けて受信できるようにすることを考慮して、メディアパケットとは別のポート番号で送ることとする。FEC機能を搭載していない受信機は、FECパケットを無視し、メディアパケットのみを受信すればよい。

7.1.1.2 FEC復元処理の方法

メディアパケット、FECパケット合わせてT個の中で、あるメディアパケットxiを復元する手順は以下の通り。

- (1) T 個の中のメディアパケットに対して、ビット列(bit string)を計算する
- (2) T 個の中の FEC パケットに対して、ビット列を計算する。ただし、Payload Type の代わりに PT Recovery、Timestamp の代わりに TS Recovery を使用し、CSRC list, extension, padding は null として計算する
- (3) もし、FEC パケットから計算したビット列よりもメディアパケットから作成したビット列のほうが短い場合、FEC パケットで生成したビット列と同じ長さになるまで埋める。
(ビット列の最後を埋めること。埋める値は任意)
- (4) ビット列の向こう側に排他的か(パリティ)操作を実行し、リカバリビット列を作成する。
- (5) 12 バイトの標準の RTP ヘッダを生成し、ペイロードがない新しいパケットを作成する。
- (6) 新しいパケットのバージョンに 2 を設定する。
- (7) 新しいパケットの Padding bit にリカバリビット列の最初のビットをはめ込む。
- (8) 新しいパケットの Extension bit にリカバリビット列の 2 番目のビットをはめ込む。
- (9) CC フィールドにリカバリビット列の次の 4 ビットを設定する。
- (10) 新しいパケットの marker bit にリカバリビット列の次のビットをはめ込む。
- (11) 新しいパケットの Payload Type にリカバリビット列の次の 7 ビットをはめ込む。
- (12) 新しいパケットの SN field に xi をはめ込む。
- (13) 新しいパケットに TS field にリカバリビット列における次の 32 ビットをはめ込む。
- (14) リカバリビット列の次の 16 ビットを見て、これがどんな符号無し整数であっても、リカバリビット列からその 16 ビットの値分のビット列(これらは CSRC list、extension、ペイロード、およびパディングに相当)を取ってきて新しいパケットに追加する。
- (15) 新しいパケットの SSRC に、保護しているメディアストリームの SSRC を設定する。

メディアパケット復元の概念図を図 7-4 に示す。

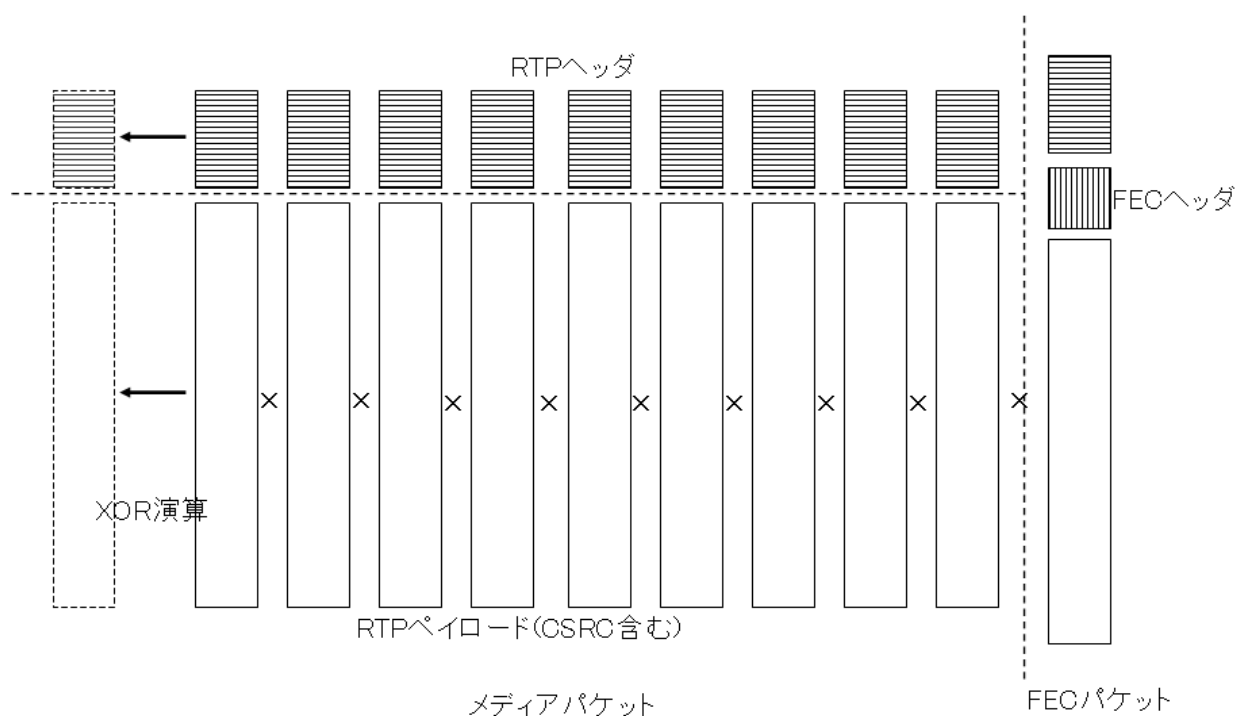


図 7-4 メディアパケット復元の概念図

パケットロスが発生した際、そのパケットを復元するために十分なデータがあるかどうか判断する方法は実装次第とされているが、RFC2733 の8.2 Determination of When to Recover”にはそのアルゴリズムや関数の例が書かれている。

7.1.1.3 FEC情報の通知方法

FECパケットを受信し、FECのデコードを行うために受信機が知らなければならない情報としては、以下のものがある。

- FEC の方式
- FEC のパラメータ
- FEC パケットの source IP address
- FEC パケットの destination ポート番号

FECのパラメータに関しては、FECの方式によりパラメータ数やフォーマットが異なるため、これらをひとまとめにしてFECの種類を定義し、受信機に伝えることとする。

FECの種類を通知する方法は、選局制御情報により通知する。

マルチキャストストリームの場合は、選局制御情報中の、FEC_modeにFECの種別を記述する。表 7-1に、マルチキャストストリームにおけるFEC_modeを示す。

表 7-1： マルチキャストストリームの FEC 種別

FEC_mode	FEC 方式	パラメータ
0x00 (*1)	なし(FEC OFF)	なし
0x01	Pro-MPEC 1D FEC	source IP address=メディアパケットと同じ dest_port=メディアパケット+2
0x02	Pro-MPEG 2D FEC	source IP address=メディアパケットと同じ dest_port=メディアパケット+2, +4

(*1) FEC を適用しない場合には、FEC_mode を 0 とするのではなく、num_of_FEC を 0 として送出する。

なお、Pro-MPEG FECの行列サイズのパラメータL,DはFEC_mode_infoの中のL_parameter, D_parameterに記述する。使用可能な組み合わせは、(L, D) = (10, 10): 0x0a0a、(20, 5): 0x1405 とする

複数のFECストリームを送信したい場合は選局制御情報の中にFEC種別ごとにFEC_modeをloopで記述する。受信機側は、記述されたFEC種別の中で、上位優先で受信機が対応可能なFECを選択してデコードを行う。また、新しいFEC種別を用いる場合は、新規にFEC_modeを定義することとする。

7.1.1.4 FEC機能のON/OFF

通信ネットワークの品質の変化を考慮して、サーバ側でも受信機側でもFEC機能のON/OFFができるようにする。

マルチキャストストリームにおいては、サーバ側でFECをOFFにする場合は選局制御情報中の、FEC_modeに0を記載する。受信機側でFECをOFFにする場合は、FECパケットを無視する。

7.1.1.5 Pro-MPEG FECの運用規定

(1) Pro-MPEG FEC を使用する場合の RTP ヘッダ追加制約

Pro-MPEG FECの規定に従い、メディアパケットのRTPヘッダの運用に関して5.2.2.3項の規定にさらに以下の制約を追加する。

- padding (P) : 0 固定とする。
- extension (X) : 0 固定とする。
- CSRC count (CC) : 0 固定とする。
- marker (M) : 0 固定とする。

この制約および、もとより本運用規定により固定運用となるフィールドにより、受信機においてはこれらのフィールドがFECパケットにおいても0固定となることが自明であるだけでなく、FECの復元処理においてヘッダの復元処理を簡略化することが可能である。

なお、FECパケットのRTPヘッダ中のSSRCについては、メディアパケットのSSRCと一致させることとする。

(2) Pro-MPEG FEC の場合の FEC パケット生成方式/復元方法

まず、Pro-MPEG FECにおけるFECパケット生成方法について説明する。

Pro-MPEG 1D FECやPro-MPEG 2D FECを使用する場合は、RFC2733で定義されたFECヘッダを拡張して使用する。拡張FECヘッダの構成図を図 7-5に示す。

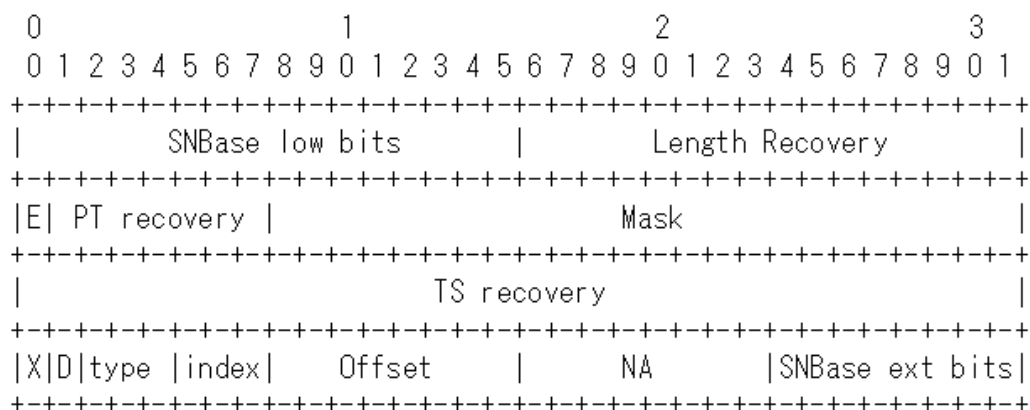


図 7-5 拡張 FEC ヘッダの構成図

拡張 FEC ヘッダの生成方法は以下の通りである。

- SNBase low bits(16bits) : FEC で保護される RTP パケットの最小シーケンス番号のうち、下位 16 ビット。シーケンス番号が 16 ビットで足りる場合はシーケンス番号をそのまま入れる。
- Length recovery(16bits):FEC で保護される RTP パケット長の XOR 値。
パケットを復元する際に、復元するパケットのパケット長の計算に用いる。
- E(1bit) : ヘッダ拡張のためのビット。FEC ヘッダを拡張するため 1 とする。
- PT recovery(7bits) : RTP ヘッダのペイロードタイプの XOR 演算結果。
- Mask(24bits) : 全て 0 とする。(代わりに NA フィールドを使用する)
- TS recovery(32bits) : RTP ヘッダの TimeStamp 値の XOR 演算結果。
- X(1bit) : 0 とする。(将来のヘッダ拡張のための予約)
- D(1bit) : 縦方向(column)FEC の場合は 0、横方向(row)FEC の場合は 1 とする。
- Type(3bits) : XOR 演算を行うため 0 とする。(XOR=0, hamming=1, Reed-Solomon=2)
- Index(3bits) : XOR 演算の場合は 0 とする。(より複雑な FEC 処理を行うときに使用)
- Offset(8bits) : メディアパケットの周期を示す。縦方向(column)FEC の場合は L、横方向(row)FEC の場合は 1 とする。
- NA(8bits) : 保護しているメディアパケットの数を示す。縦方向(column)FEC の場合は D、横方向(row)FEC の場合は L とする。
- SNBase ext bits(8bits):シーケンス番号が 16 ビットで足りない場合に使用する。MPEG2-TS

の場合は 16 ビットで足りるため、0 とする。

Pro-MPEG FEC(L×D=10×10)の場合の演算を図 7-6 に示す。Pro-MPEG 1D FECの場合は行列の縦方向にFECヘッダならびにFECペイロードの演算を行い、縦方向(column)のFECパケットを10個生成する。Pro-MPEG 2D FECの場合は、加えて横方向に演算を行い、横方向(row)のFECパケットを10個生成する。

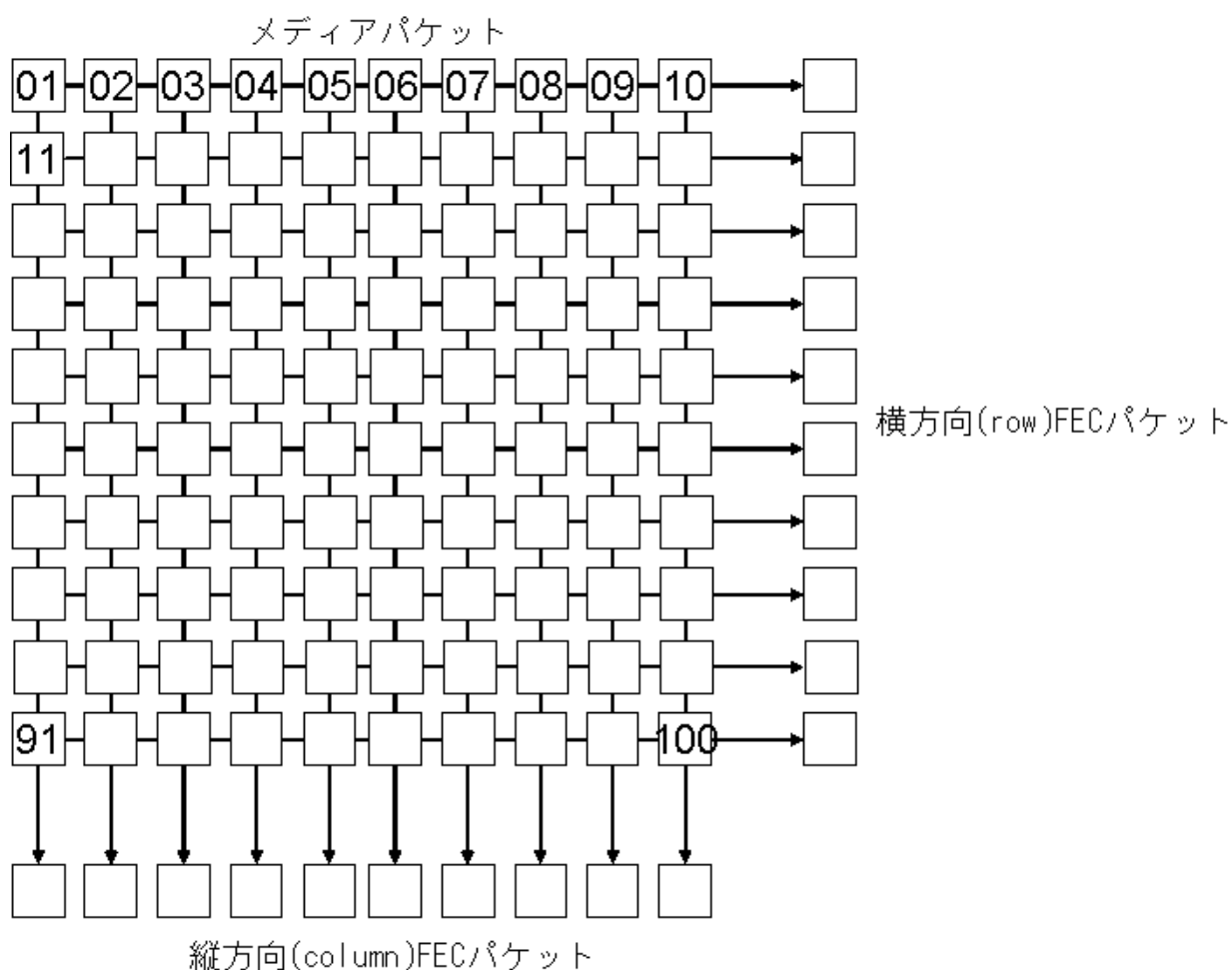


図 7-6 Pro-MPEG FEC の FEC パケット演算

Pro-MPEG 1D FECの場合、縦方向のFECパケットがメディアパケットのポート番号+2で送信され、Pro-MPEG 2D FECの場合は、縦方向に加えて横方向のFECパケットがメディアパケットのポート番号+4を用いて送信されるため、FEC機能を搭載している受信機はそれぞれのポートでパケットを受信する必要がある。Pro-MPEG FEC非搭載の受信機は、FECパケッ

トを無視しメディア packets のみを受信すればよい。

次にPro-MPEG FECの場合の復元方法について説明する。Pro-MPEG 1D FECの場合、縦方向の packets はメディア packets D 個+FEC packets 1 個の計 $D+1$ 個であり、メディア packets の1つが packets ロスにより消失しても、メディア packets とFEC packets を合計で D 個受信していれば、上記の手順で残り1個の packets を復元することが可能である。Pro-MPEG 2D FECの場合、縦方向のメディア packets D 個+FEC packets 1 個、横方向の packets はメディア packets L 個+FEC packets 1 個であるため、それぞれ合計 D 個、 L 個の packets が受信できていれば、復元可能である。packets の復元は、7.1.1.2「FEC復元処理の方法」の復元方法の演算を縦方向、もしくは横方向に演算することにより可能となる。また、図 7-7のように、同じ行もしくは列に2つ以上の packets ロスが存在する場合でも、一旦縦方向の復元を行った後に横方向の復元を行うことにより packets の復元が可能となる場合がある。

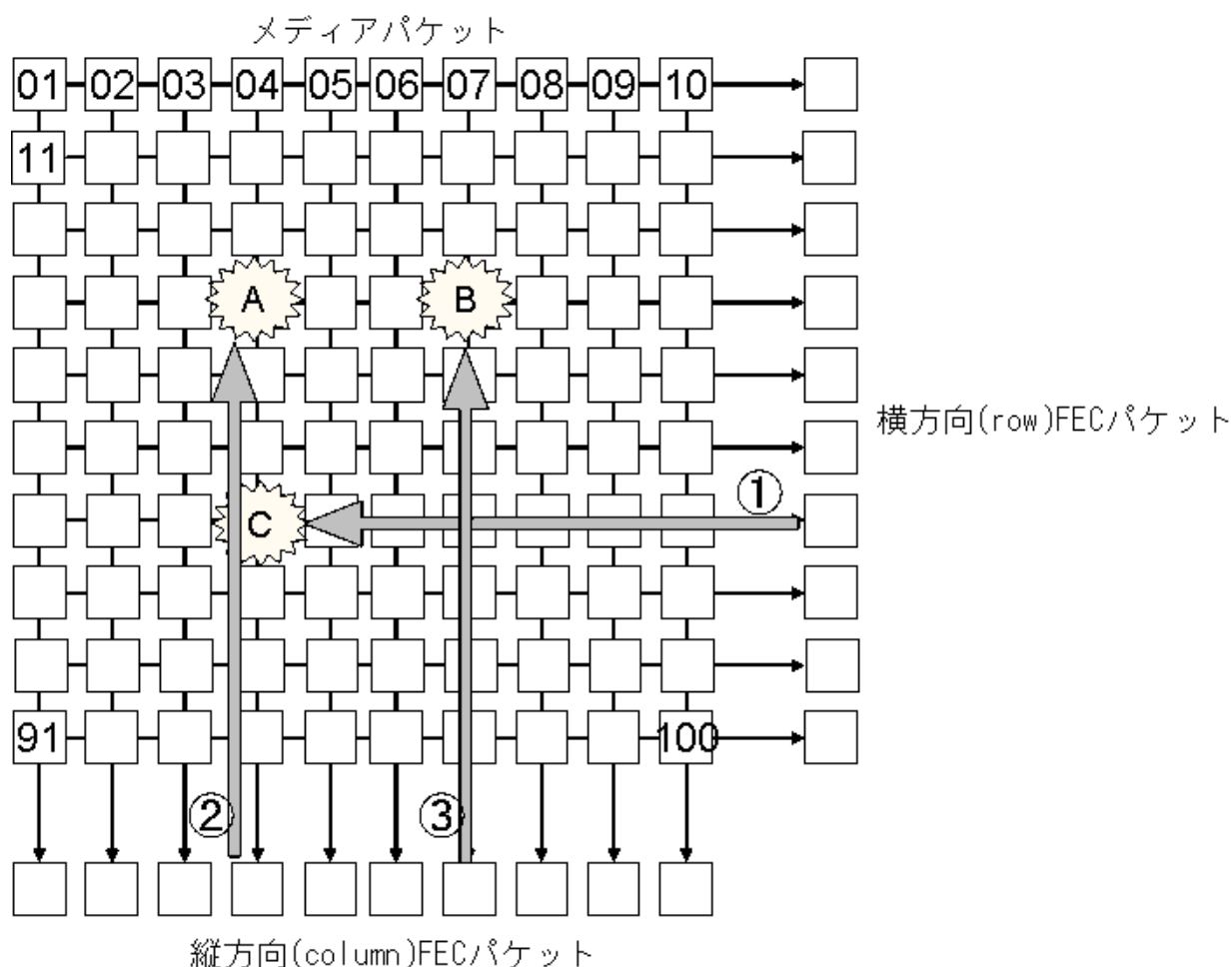


図 7-7 Pro-MPEG 2D FEC の復元

この例の場合、まず横方向の演算①でCの packets を復元した後、縦方向の演算② ③でA,B

の packets を復元することにより、縦横それぞれで2個以上の packets ロスが発生した場合でも packets の復元が可能となる。

(3) Pro-MPEG FEC の場合の FEC packets 生成・送出タイミングガイドライン

FECによる保護対象となるメディア packets の $L \times D$ の行列は、長方形（正方形）のみを運用する。すなわち、同一行列を保護する L 個の縦方向 FEC packets の SNBase 値は連続した値となるように FEC packets を生成・送出すること。

また、全ての FEC packets は、当該 FEC packets の保護対象となるメディア packets の行列が全て送出し終わった後、 $L \times D + L$ 個後のメディア packets が送出される以前には送出完了するように運用すること。

7.1.2 クロック同期

IP 伝送では電波での RF 伝送と異なり、非同期型通信となることから、明示的なクロック情報の伝播が困難になる。しかしながら、長時間の安定した再生を実現するためには送信側から受信側へ渡るクロック同期の機構が重要である。

IP 伝送では、ベストエフォートな伝送システムとなることから、packets ロス、ジッタ、バーストといった各種のじょう乱を想定した上での堅牢なメカニズムが要求される。

本規定では、性能・精度面、他規格との整合などの観点から ARIB STD-B24 で規定されている、各 TS packets (188 バイト) の先頭に 4 バイトの 27MHz ベースのタイムスタンプを付加したタイムスタンプ付き TS (TTS) を導入する。

IP 再送信サービスにおいては、TTS を用いることとし、付加するタイムスタンプの 27MHz は、該当する TS が持つ PCR と同期したものをを用いることとする。受信機側では、TTS デコード機能を備え、到着した TTS packets をバッファリングするための FIFO メモリに蓄え、タイムスタンプによってもたらされる送出側 27MHz 情報に従属同期したローカルカウンタ値と FIFO 内 TTS packets のタイムスタンプ値を比較することで出力のためのゲーティング処理を行う。

送出側と受信機側での TTS によるクロック同期の様子を図 7-8 に示す。

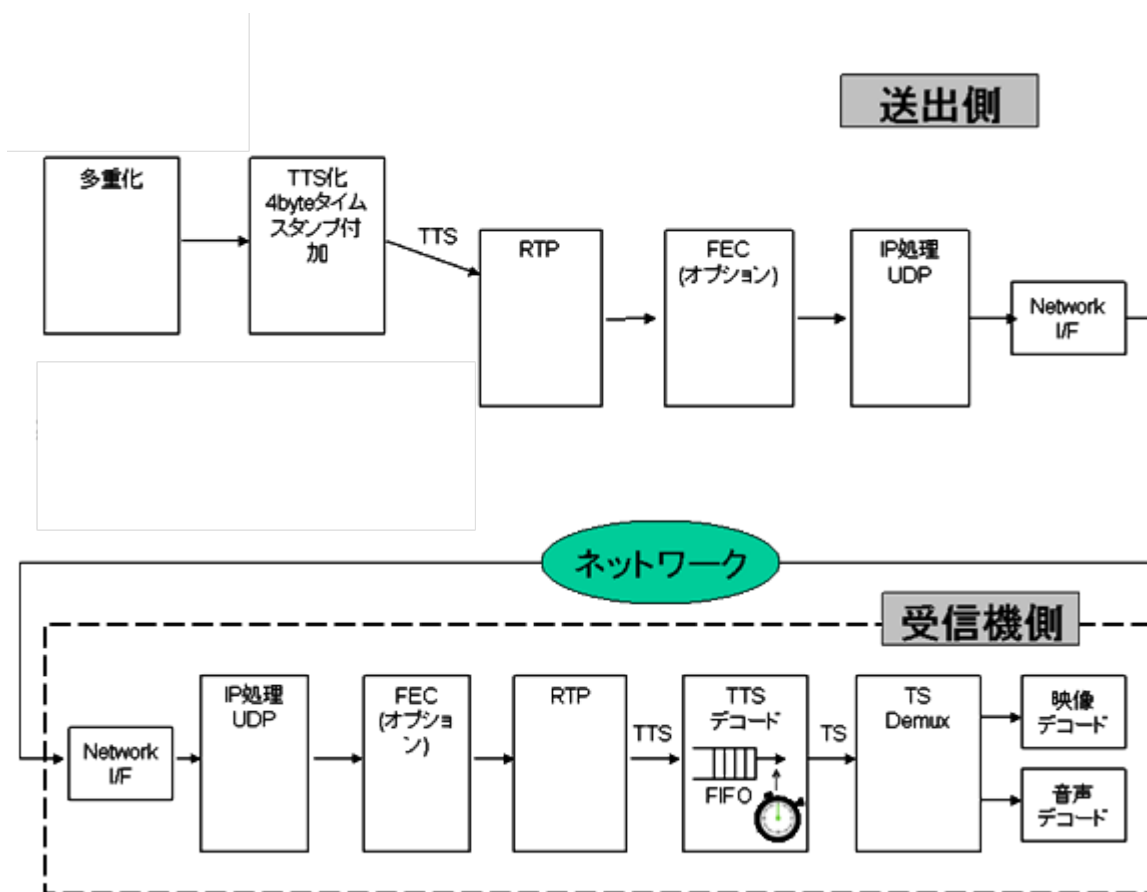


図 7-8 クロック同期に関わるシステム構成

第七編

地上デジタルテレビジョン放送 IP 再送信 送出運用規定

7.12 IP 再送信サービス送出運用ガイドライン

IP 再送信サービスの安定した受信再生動作を実現するために、送信側は、IP 再送信サービスの送出設備及びネットワークを介して、以下の式を満たすような形でパケット送出を受信すること想定する。ただし、 x 、 y の値については、下記の値を参考に、受信機メーカ、サービス事業者が個々の商品企画により決めるもので、受信機・サーバの設計指針として要求するものではないがサービス事業者は、本値に基づき運用することが望ましい。

$$T - x \cdot T - y < t < T + x \cdot T + y$$

T : ストリーミング時間[hour]

受信ストリームの任意の 2 点における TTS タイムスタンプ値の時間差分を示す。

t : T 時間に含まれるパケットが実際に IP 再送信サービスの受信機に受信された時間

上記 T で表現された時間範囲に該当するパケットが実際に受信された時間を示す。

x : IP 再送信サービスの送出設備におけるクロックの精度を示す係数[ms/hour]

(注 1)

PCR を生成した際に用いられた system clock 精度が継承されるとき 108 となる。

y : パケット受信時のジッタ[ms]。

送出設備及びネットワークにおけるジッタの合計値である。受信機においてストリーム受信再生動作を安定的かつ迅速に実現するため、100 以下にできることが望ましい。ただし、当面は、送出運用上困難な場合に 300 程度となってしまうことも許容される。

(注 1) この係数には、IP 再送信サービス自体が持つ PCR 精度などのクロック誤差成分は含まれていない。

なお、受信機が受信するパケットのバースト性は、1 秒当たり最大 3125KB (25Mbps※) (但し 50ms 当たり 157KB±100%) とする。

なお、50ms 当たりのバーストは原則どちらか一方に連続しないよう運用すること。

※ TS レート 18Mbps で ProMPEG 2D FEC 実装時のイーサネットパケットでのデータ量

次に、上記ガイドラインを満たすことを確認する方法について一例を挙げて説明する。図 7-3はその測定方法である。IP 再送信サービス送出設備と、ネットワークアナライザなどの測定器を直結し、送出されるストリームを直接ネットワークアナライザにて受信する。受信したパケットに含まれる TTS タイムスタンプ情報と実際にパケットを受信したタイミング情報から、ガイドラインへの適合性を確認することが可能となる。

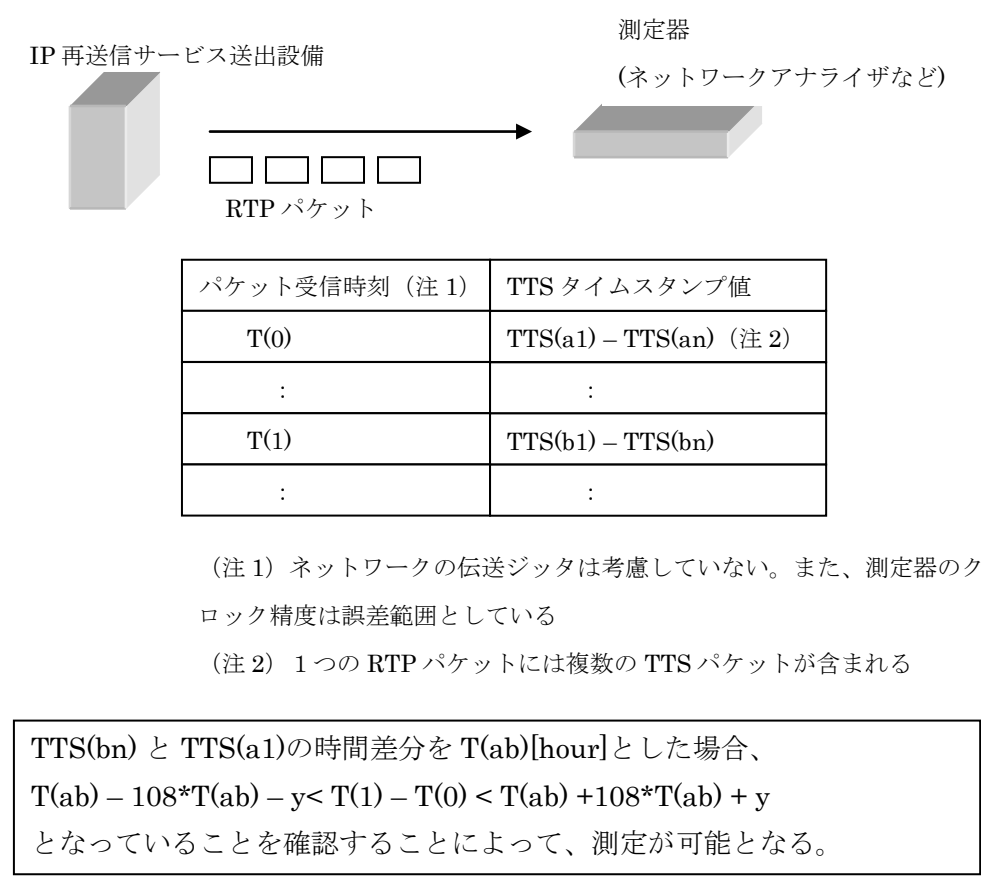


図 7-3 IP 再送信サービス送出設備の送出品質測定方法の一例

7.13 送信設備状況による一部 ES の非送信

IP 再送信サービスでは、IP 再送信の送信設備の状況により、マルチビューの 2 本目以降の映像 ES や、臨時サービスの映像が送信されないことがある。(9.2 節を参照のこと) また、移動階層や部分受信階層のサービスは本版では規定しないため再送信の対象外となる。

上記のような場合には、送出状況に合わせて PAT、PMT の変更を実施すること