



ARIB TR-B34

制作・取材用リアルタイムIP映像伝送における 品質確保のためのガイドライン

Guidelines on quality control in real-time video transmission over IP networks
for program production and news gathering

技 術 資 料

ARIB TECHNICAL REPORT

ARIB TR-B34 1.0版

平成23年12月 6日 策 定

一般社団法人 電 波 産 業 会

Association of Radio Industries and Businesses

まえがき

一般社団法人電波産業会は、無線機器製造者、電気通信事業者、放送機器製造者、放送事業者及び利用者の参加を得て、各種の電波利用システムに関する無線設備の標準的な仕様等の基本的な要件を「標準規格」として策定している。

「技術資料」は、国が定める技術規準と民間の任意基準を取りまとめて策定される標準規格を踏まえて、無線設備、放送設備の適性品質、互換性の確保等を図るため、当該設備に関する測定法、解説、運用上の留意事項等を具体的に定めたものである。

本技術資料は、制作・取材用リアルタイム IP 映像伝送における品質確保のためのガイドラインについて策定されたもので、策定段階における公正性及び透明性を確保するため、内外無差別に広く無線機器製造者、電気通信事業者、放送機器製造者、放送事業者及び利用者等の利害関係者の参加を得た当会の規格会議の総意により策定されたものである。

本技術資料が、無線機器製造者、電気通信事業者、放送機器製造者、放送事業者、利用者等に積極的に活用されることを希望する。

はじめに

近年、ブロードバンドネットワークの普及と符号化技術の進展により、IP ネットワークを使った映像伝送技術／製品が広く普及している。放送の制作や取材においても、低い通信コストと国内／海外を問わずあらゆる場所から接続可能という利便性により、IP ネットワークを使って放送素材や情報カメラ映像等を伝送することが増えている。

IP ネットワークにはパケットロスやパケットジッタ等の特有の問題がある。一定の映像伝送品質を確保するためには、IP 映像伝送の特徴を理解した上で適切な対策をとることが必要である。

本ガイドラインは、用途や目的に応じて最適な IP 映像伝送システムを構築する事を目的として、リアルタイムで IP 映像伝送を行う場合に特有の問題とその対策について解説し、その対策を有効活用する方法について記載したものである。

目 次

まえがき	
はじめに	
第1章 一般事項	1
1.1 目的	1
1.2 略語	1
第2章 IP 映像伝送	3
第3章 IP 映像伝送における映像伝送品質	5
3.1 はじめに	5
3.2 遅延	5
3.2.1 符号化（エンコード/デコード）処理遅延	5
3.2.2 FEC（前方エラー訂正）処理遅延	5
3.2.3 IP ネットワーク遅延	6
3.2.4 パケットジッタ吸収バッファ遅延	6
3.2.5 ARQ 再送用バッファ遅延	7
3.3 アベイラビリティ（可用性）	7
3.3.1 パケットジッタ（IP パケット到着間隔のゆらぎ）・遅延変動	7
3.3.2 パケットロス	7
3.4 画質	9
3.4.1 GOP と I, P, B ピクチャ	9
3.4.2 GOP 構造	10
3.4.3 GOP 周期	11
第4章 IP 映像伝送におけるネットワーク品質	13
4.1 IP 映像伝送	13
4.2 IP パケット変換	13
4.3 伝送遅延	14
4.3.1 伝播遅延	15
4.3.2 ネットワーク機器遅延	15
4.3.3 ネットワークの遅延プロファイル	16
4.4 パケットジッタ・遅延変動対策	17
4.5 パケットロス	18
4.6 パケットロス対策	19
4.6.1 FEC 方式	20

4.6.2 ARQ 方式.....	24
4.6.3 パケットロス対策が伝送遅延に与える影響.....	25
4.7 ネットワーク試験.....	27
4.7.1 測定器.....	27
4.7.2 疎通確認方法 (ping).....	28
4.7.3 IP アナライザによる回線評価 (MTU・PORT・帯域・伝送遅延・パケットロス・MDI の測定).....	29
4.7.4 TS アナライザによる映像ストリーム評価 (MDI).....	31
第 5 章 IP 伝送品質劣化対策と映像伝送品質確保.....	33
5.1 はじめに.....	33
5.2 IP 伝送品質劣化対策とそのデメリットについて.....	33
5.2.1 パケットジッタ・遅延変動.....	33
5.2.2 パケットロス.....	33
5.3 IP 映像伝送システムにおけるコーデック動作パラメータの決定方法.....	34
5.3.1 IP 映像伝送システムパラメータの決定.....	34
5.3.2 パケットロス対策パラメータの決定.....	35
5.3.3 ネットワークサービスの変更.....	39
5.4 IP 映像伝送機器評価.....	39
第 6 章 IP 映像伝送システム構築事例.....	41
6.1 はじめに.....	41
6.2 よく管理されたネットワークにおける事例.....	42
6.2.1 ビデオレート 10Mbps 固定、コーデック遅延量 [標準タイプ] 想定.....	42
6.2.2 ビデオレート 10Mbps 固定、コーデック遅延 [低遅延タイプ] 想定.....	42
6.3 管理されたネットワークにおける事例.....	43
6.3.1 ビデオレート 10Mbps 固定、コーデック遅延量 [標準タイプ] 想定.....	43
6.3.2 ビデオレート 10Mbps 固定、コーデック遅延 [低遅延タイプ] 想定.....	43
第 7 章 まとめ.....	45
7.1 まとめ.....	45
7.2 今後の課題.....	45

第1章 一般事項

1.1 目的

本書は、制作・取材において IP ネットワークを用いてリアルタイムに映像伝送を行う際の品質確保のためのガイドラインとして作成した。

1.2 略語

(GBN-)ARQ	(Go Back N-) Automatic Repeat reQuest
(SAW-)ARQ	(Stop and Wait-) Automatic Repeat reQuest
(SR-)ARQ	(Selective Repeat-) Automatic Repeat reQuest
CBR / VBR	Constant Bit Rate / Variable Bit Rate
DSU / ONU	Digital Service Unit / Optical Network Unit
DUT	Device Under Test
DVB-ASI	Digital Video Broadcasting-Asynchronous Serial Interface
FEC	Forward Error Correction
GOP	Group Of Pictures
GPS	Global Positioning System
HD-SDI	High Definition - Serial Digital Interface
ICMP	Internet Control Message Protocol
IP	Internet Protocol
LDPC	Low Density Parity Check
MDI-DF / MLR	Media Delivery Index - Delay Factor / Media Loss Rate
MTU	Maximum Transmission Unit
OLT	Optical Line Terminal
PCR	Program Clock Reference
PDS	Passive Double Star
POS	Packet Over SONET
PTP	Precision Time Protocol
QoS	Quality of Service
RTP	Real-time Transport Protocol
RTT	Round-Trip (delay) Time
SONET/SDH	Synchronous Optical NETwork / Synchronous Digital Hierarchy
TAP	Test Access Point
TS	Transport Stream
TTS	Time-stamped Transport Stream
UDP	User Datagram Protocol
UTC	Universal Time, Coordinated
WDM	Wavelength Division Multiplex

<余白>

第2章 IP 映像伝送

放送事業者が制作や取材のために利用する IP 映像伝送は、伝送帯域やその用途により表 2-1 のように分類できる。このうち、本ガイドラインが想定する IP 映像伝送は、(5)のベストエフォート IP ネットワークサービスを利用したリアルタイムの映像伝送である。

表 2-1 IP 映像伝送の種類

	伝送帯域	データ種	主な用途	伝送サービス	回線コスト
(1)	1.5Gbps 超	非圧縮 HD	局間番組伝送	高速専用回線	大
(2)	270Mbps 超	非圧縮 SD			
(3)	20Mbps 超	圧縮	局間番組伝送、 素材伝送、ライブ伝送	専用回線 帯域保証 IP ネットワーク*1 帯域確保 IP ネットワーク*2	中～大
(4)	20Mbps 以下		素材伝送、ライブ伝送	帯域保証 IP ネットワーク*1 帯域確保 IP ネットワーク*2	中
(5)			素材伝送、ライブ伝送	ベストエフォート IP ネットワーク*3	小

*1 1対1で伝送帯域を確実に割り当てる回線。

*2 ネットワークの伝送帯域が確保された、ベストエフォート型より管理された回線。

*3 一般向けの商用インターネットサービス。伝送帯域の確保・保証はない。

<余 白>

第3章 IP 映像伝送における映像伝送品質

3.1 はじめに

IP 映像伝送における映像伝送品質は、遅延、アベイラビリティ（可用性）、画質（符号化）という3つの要素で評価される。図 3-1 は、その3つの要素が IP 映像伝送システム全体の機能ブロックの中でどう関係しているのかを説明したものである。ブロック図の下に記載したグラフは、「よく管理されたネットワーク」における設定事例（6.2.1 参照）を基に、各ブロックの処理遅延量と各ブロックを通過後のデータ伝送帯域を示したものである。

以下では、遅延、アベイラビリティ（可用性）、画質（符号化）の各要素について述べる。

3.2 遅延

IP 映像伝送システムにおける遅延は、図 3-1 に示すようにコーデック内での符号化、パケット化、エラー訂正の各処理遅延と、IP ネットワークの伝送遅延とに分けられる。以下に、各遅延について述べる。

3.2.1 符号化（エンコード/デコード）処理遅延

映像データのエンコード（符号化）とデコード（復号化）処理により発生する遅延である。IP 映像伝送全体における遅延時間の大半はこの遅延によるものである。

遅延の大きさは符号化映像品質と相関があり、符号化遅延を小さくすることは、符号化映像品質の低下を伴う。従って、符号化遅延を小さくする場合、符号化映像品質の低下が運用上問題ないことを確認する必要がある。

通常、B ピクチャを使う H.264/AVC HDTV コーデックでは、符号化処理（エンコード/デコード）の遅延時間は1秒前後である。B ピクチャを使わないコーデックの場合、0.5秒前後から短いものでは0.1秒を切るものもある。

3.2.2 FEC（前方エラー訂正）処理遅延

符号化された映像データの前方エラー訂正処理（FEC）により発生する遅延である。FEC 処理遅延は符号化処理遅延と比較して小さく、IP 映像伝送全体で見た場合、通常は考慮しなくてもよい大きさである。

但し、符号化レートが低くなると、FEC 処理遅延が映像伝送遅延全体に占める割合が相対的に大きくなる。これは、一つの FEC 処理単位の水データ量が一定であるため、符号化レートが低くなるにつれて、一つの FEC 処理単位の水データ伝送時間が長くなる（FEC 処理遅延が大きくなる）ことによる。特に、1次元 FEC でインターリーブする方式や2次元 FEC 方式のように FEC パケットの

並べ替え処理が必要な FEC 方式では、その遅延時間が無視できない程度に大きくなる場合があるため、実際に使用する符号化レートと FEC 処理遅延の増加について確認しておくことが望ましい。例として、TS レート 10Mbps と 1Mbps の場合の FEC 処理遅延時間見積値を以下に示す。

表 3-1 TS レートによる FEC 処理遅延時間見積値

TS レート	10Mbps	1Mbps
1次元 FEC インターリーブ無 (FEC パケット挿入率 10%)	約 11ms	約 110ms
2次元 FEC (L10×D10) (FEC パケット挿入率 20%)	約 120ms	約 1200ms

1次元 FEC 処理遅延時間算出式 $T_{fec} = T_p * L * (1 + 1/L)$

2次元 FEC 処理遅延時間算出式 $T_{fec} = T_p * (L * D) * (1 + 1/L + 1/D)$

T_{fec} : FEC 処理時間 (FEC パケット挿入待合せ時間相当)

T_p : パケット間隔時間 (TS レート 10Mbps で概ね 1msec、TS レート 1Mbps で概ね 10msec)

L, D : FEC 配列サイズ L=横、D=縦のパケット数

(FEC 方式による遅延時間の違いについては、4.6 パケットロス対策 図 4-13 パケットロス復元方式別伝送遅延時間を参照のこと。)

3.2.3 IP ネットワーク遅延

IP ネットワークにおける IP パケット転送処理により発生する遅延である。IP ネットワーク遅延は符号化処理遅延と比較すると小さいが、IP 映像伝送システム全体では無視できない大きさである。

また、他の遅延とは異なり、遅延時間 (パケット到着時間) に変動 (ジッタ) が生じる。この変動 (ジッタ) は IP 映像伝送全体の品質に大きな影響を与える重要なものである。

IP ネットワーク遅延は、経路上のネットワーク機器数や距離に比例して大きくなるため、Ping 等により伝送地点間の RTT を事前に確認しておくことが望ましい。通常、国内の伝送で 100ms 以下、海外からの伝送で 100ms 以上のネットワーク遅延が存在する。

3.2.4 パケットジッタ吸収バッファ遅延

IP ネットワークで発生するパケットジッタ (パケット到着時間の変動) を吸収するため、デコーダーに搭載されるジッタ吸収バッファによる遅延時間である。

ジッタ吸収バッファ遅延は、符号化処理遅延と比較すると小さいが、IP 映像伝送システム全体では無視できない大きさである。パケットジッタの大きさに比例してジッタ吸収バッファも大きくする必要があり、その分遅延時間は大きくなる。

3.2.5 ARQ 再送用バッファ遅延

自動再送信要求方式 (ARQ) を有するデコーダーにおいて、エンコーダーへ再送要求を出して再送パケットの到着を待つまでの間、その時間分のストリームを溜めておく ARQ 再送用バッファにより生じる遅延である。このバッファサイズは、IP ネットワークの RTT と再送リトライ数に比例する。

ARQ 再送用バッファ遅延は、RTT と再送リトライ数によっては、符号化処理遅延と比較して無視できない程大きくなる場合があるため、ARQ の採用には、遅延時間の増加が運用上許容できるか事前に確認しておくことが望ましい。

3.3 アベイラビリティ (可用性)

IP 映像伝送において、パケットジッタ・遅延変動とパケットロスは一時的なアベイラビリティ (可用性) に大きな影響を与える。以下では、パケットジッタ・遅延変動とパケットロスについて説明する。これらのメカニズムの詳細については第 4 章を参照のこと。

3.3.1 パケットジッタ (IP パケット到着間隔のゆらぎ)・遅延変動

パケットジッタは、再生ビデオクロックの変動や再生フレームのスキップ/リPEATを起す要因となり、IP 映像伝送におけるアベイラビリティを脅かすものである。

通常、IP 映像伝送システムでは、それを回避するため、デコーダーにジッタ吸収バッファを備えることでパケット到着間隔を平滑化し、アベイラビリティを確保している。但し、ジッタ吸収バッファの利用には、遅延時間の増加というデメリットが生じるため、アベイラビリティの維持と遅延時間の削減 (リアルタイム性) の両立は難しく、使用用途/目的によりどちらを優先させるかを定める必要がある。

現象として捕らえやすいパケットロスとは異なり、パケットジッタそのものやそれによる破綻を捕捉することは難しいため、高いアベイラビリティが要求される場合は、長期間に亘り SDI アナライザによる監視/評価を行うことが望ましい。

3.3.2 パケットロス

パケットロスは、ブロックノイズ、フレームの欠落や崩れ、フリーズ、デコード停止など様々な症状として現れ、IP 映像伝送におけるアベイラビリティを脅かす最大要因である。通常、IP 映像伝送システムでは、パケットロスへの対策として、FEC や ARQ の誤り訂正機能を搭載することで、アベイラビリティを確保している。

但し、誤り訂正機能は、ネットワーク帯域の圧迫による映像レート/符号化映像品質の低下や遅延時間の増加というデメリットが存在するため、アベイラビリティと映像品質の両立は難しく、使用用途/目的により何をどこまで優先させるかを定める必要がある。

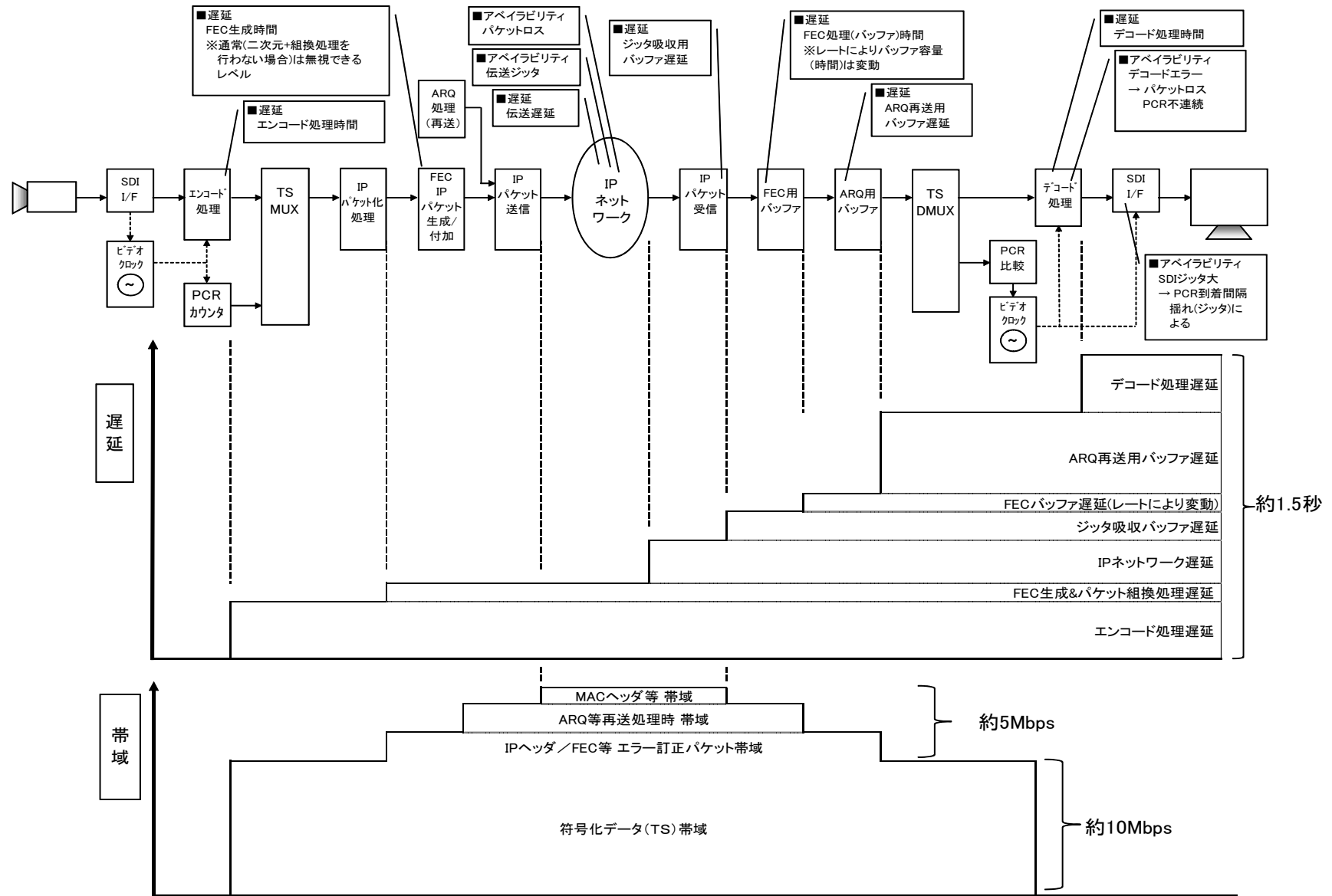


図 3-1 IP 映像伝送システムと映像伝送品質評価項目(遅延、アベイラビリティ、画質)の関係

3.4 画質

符号化画質と符号化処理遅延に影響を与える GOP 構造と GOP 周期の二つの符号化パラメータについて説明する。

3.4.1 GOP と I, P, B ピクチャ

符号化ストリームは、I, P, B という 3 種類の符号化ピクチャから構成される。

I ピクチャは、画面内符号化ピクチャであり、符号化・復号の際、他のピクチャ情報を必要としないピクチャである。他の種類のピクチャと比べてデータ量が多い。

P ピクチャは、直前の I または P ピクチャから予測符号化を行う順方向予測符号化ピクチャであり、直前の I 又は P ピクチャに対する修正／差分データで構成される。通常、P ピクチャの必要データ量は、I ピクチャの約半分程度である。

B ピクチャは、直前と直後の I または P ピクチャから予測符号化を行う双方向予測符号化ピクチャであり、直前と直後の I または P ピクチャに対する修正／差分データで構成される。通常、B ピクチャの必要データ量は、I ピクチャの約 4 分の 1 程度である。

GOP は、I ピクチャから次の I ピクチャまでの連続するピクチャ (I, P, B) のグループを指す。

図 3-2 は、GOP フレーム構造と実際の符号化ストリームデータの関係を表したモデル図である。符号化ストリーム上では、B ピクチャのデータは P ピクチャの後に伝送順序が入れ替わる。符号化ストリームイメージの各々のピクチャの長さは符号化時の情報量の大きさを表しており、I, P, B の順に小さくなる。

なお、H.264/AVC 符号化方式では、B ピクチャが参照可能なピクチャが拡張されており、直前／直後の I, P ピクチャだけでなく、B ピクチャを含む任意の過去のピクチャから最大 2 枚まで参照可能となっている。

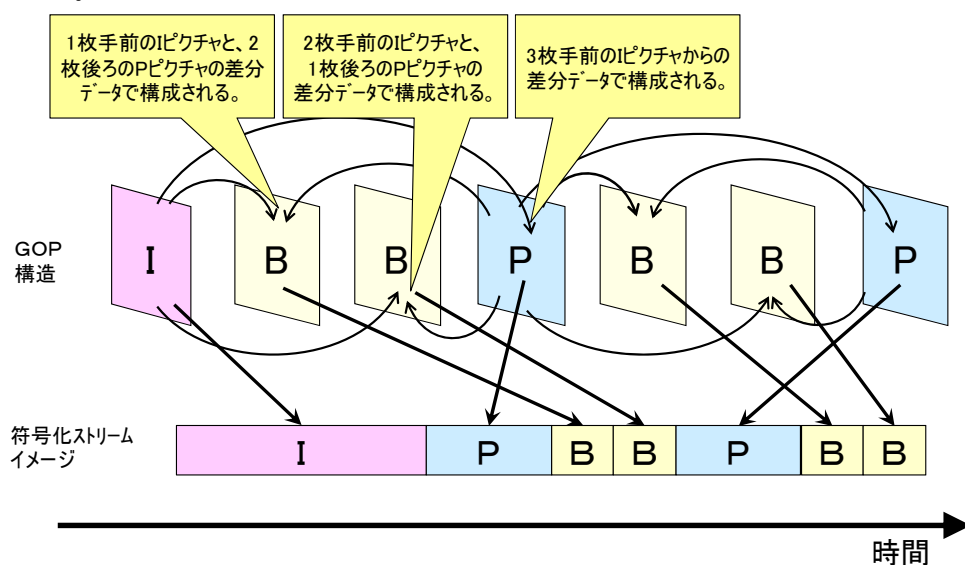


図 3-2 GOP 構造と符号化ストリームデータの関係 (IBBP の場合)

3.4.2 GOP 構造

良く使われる GOP 構造 (I, P, B ピクチャ構成) とその特徴を表 3-2 に示す。

表 3-2 GOP 構造の特徴

GOP 構造	構成ピクチャ	符号化処理用バッファ量	遅延時間	符号化効率
IIII	I で構成	少 ↑	小 ↑	低 ↑
PPPP	P で構成			
IPPP	I, P で構成	↓ 多	↓ 大	↓ 高
IBP	I, P に B 1 枚構成			
IBBP	I, P に B 2 枚構成			

B ピクチャを含む GOP 構造は、符号化効率は高くなるが、B ピクチャを含まない GOP 構造と比較すると、バッファを多く必要とするため遅延時間が大きくなる。

B ピクチャを含む GOP 構造がバッファを多く必要とする理由は、二つ挙げられる。一つ目は、前後の I, P フレーム映像を参照して B ピクチャの符号化データを生成するためであり、二つ目は、B ピクチャと P ピクチャの符号化データの順番を入れ替えて符号化ストリームを生成するためである。

B ピクチャを含まない GOP 構造は、B ピクチャを含む構造と比較すると符号化効率は低くなるが、前後フレームの参照や符号化データの入れ替え処理が不要で、バッファを多く必要しないため、遅延時間を小さくできる。

用途や目的、利用可能な伝送レートにより、映像品質と遅延時間のバランスからどの GOP 構造を使うべきか決定する必要がある。図 3-3 に、各 GOP 構造におけるストリーム構造と一定の映像品質を得るための符号化データ量 (符号化レート) を模式的に示す。

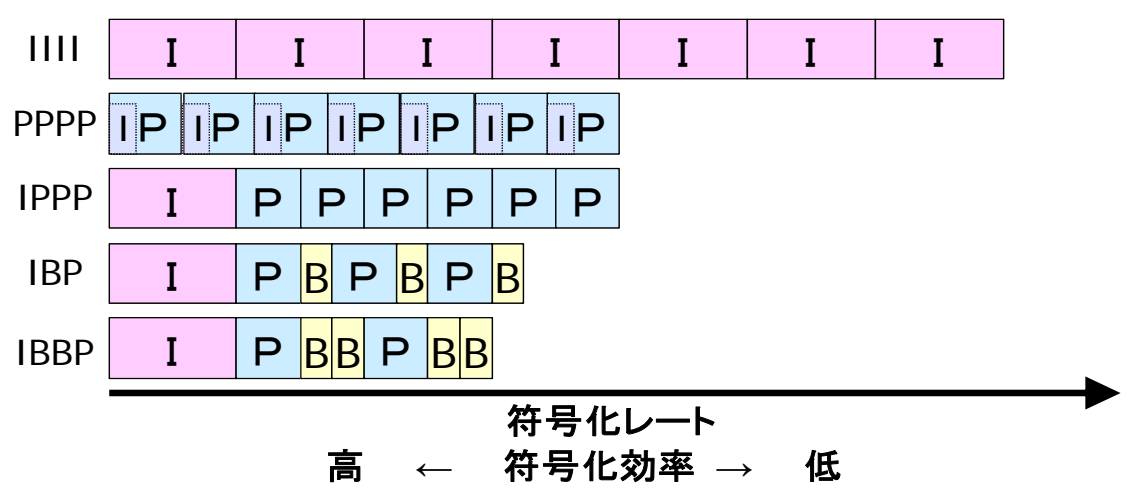


図 3-3 GOP 構造毎のストリーム構造と符号化レートとの関係

3.4.3 GOP 周期

GOP 周期を長くすることで、ストリーム全体で I ピクチャの割合が少なくなる分符号化効率が若干向上し、また、I ピクチャによる画質変化が目立たなくなり、ある程度符号化品質を向上させることが可能となる。一方、GOP 周期が長い場合、I ピクチャの到着間隔が長くなるため、パケットロス等によるデータエラー発生時にデコード映像が復旧するまでの時間が長くなるというデメリットがある。使用用途／目的により許容可能な復旧時間を考慮する必要がある。

参考に、GOP 構造 IBBP ストリームにおける GOP 周期 15 フレームと 30 フレームのストリームの違いを図示する。

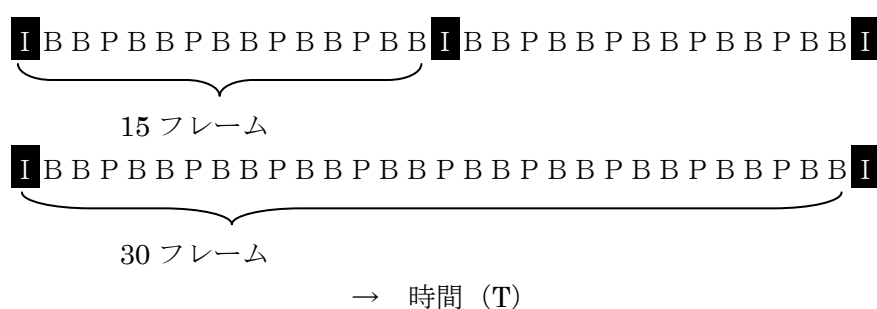


図 3-4 GOP 周期 15 フレームと 30 フレームの違い

GOP 周期 30 フレームのストリームは、I ピクチャが半分になる分、ストリーム全体での符号化効率が若干向上するが、次の I ピクチャが届くまで最大倍の時間が必要となるため、デコード映像の復旧に時間がかかる。

<余白>

第4章 IP 映像伝送におけるネットワーク品質

4.1 IP 映像伝送

放送局間で映像伝送を行う場合、高品位映像伝送のため、通信キャリアの提供する広帯域デジタル専用線サービスにより非圧縮 SDI 信号や DVB-ASI による圧縮信号を伝送していた。SONET/SDH ベースの同期インタフェースを用いる専用線サービスでは、極めて低いエラー率と通信キャリアの高品位クロック源により、タイミングの安定したネットワークを用いてシームレスな映像信号が伝送できた。一方、近年のデータ通信需要により台頭した低廉な IP 通信サービスでは、Ethernet に代表される非同期インタフェースに適合するため、図 4-1 のようにシームレスな映像信号をカプセル化（パケット化）することとなった。このパケット化により、映像信号のタイミングが失われ、また伝送品質劣化の際に受信側で確認されるエラーが、「ビットエラー」から「パケットロス」へと変化している。本章では、IP ネットワークを通過する際に受ける品質劣化要因を考察する。

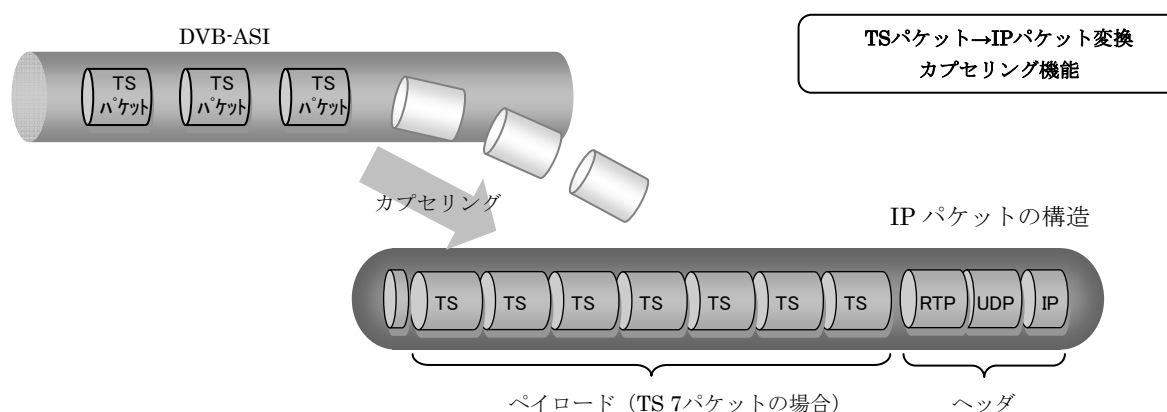


図 4-1 IP 映像伝送パケットの構造

4.2 IP パケット変換

映像データを IP パケットに変換するには、ひとつの IP パケットあたりのデータ格納量を決定するため、まず使用する IP 通信サービスの MTU (Maximum Transmission Unit) 値を提供キャリアの情報や試験により得る必要がある。MTU とは、通信ネットワークにおいて 1 回のパケット転送で送信できるデータの最大値を示す値であり、この値を超えてパケット化した場合、ネットワーク機器によりパケット分割（フラグメント）される。映像データパケットにフラグメントが起きた場合、受信側で元の映像データに復元出来ないか、後述するパケット損失訂正が出来ないトラブルが想定される。

一般的なベストエフォート型 IP 通信サービスの MTU は 1,450 バイト程度¹であり、放送用途に用いられる DVB-ASI 信号中の 188 バイト TS パケットを伝送する場合には、整数倍の内数の上限である 7 個の TS パケットを 1 個の IP パケットとし、IP ヘッダ等を付加した IP パケットサイズを 1,370 バイト程度²とすることが効率良く伝送する観点から望ましい。また、204 バイトの TS パケットを伝送する場合には、7 個の TS では IP ヘッダを付加したパケットサイズが MTU を上回る場合があるため、その場合には 1 個の IP パケットあたりの TS パケット数を 6 以下に設定する必要がある。

非圧縮の SDI 信号を IP 伝送する場合は、TS パケットとは異なりシームレスな信号であるため、MTU を下回る適当なサイズに映像データの分割を必要とする。

通信キャリアが提供する IP 通信サービスの中には、ジャンボパケットと呼ばれる約 9,000 バイトを転送できるサービスメニューもあり、より多くのデータを一つのパケットで転送できる。

4.3 伝送遅延

IP ネットワークにおける遅延は、伝送距離に応じた物理的な伝播遅延とネットワーク機器など通過装置の処理時間（遅延）に大別される。ここでは図 4.2 に示す代表的な IP 通信サービスの構成を基に遅延プロファイルを考察する。

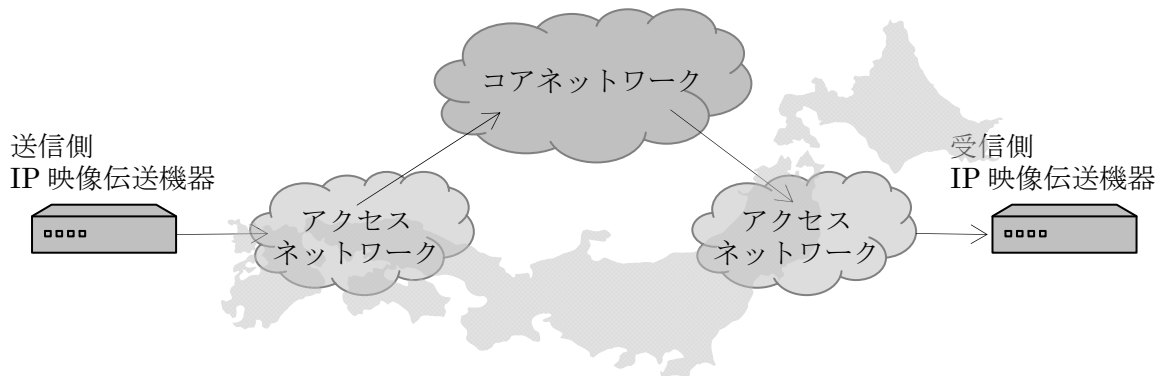


図 4.2 代表的な IP 通信サービスの構成概念

¹ 通信キャリアが提供するサービス品目により、値は大きく異なる場合がある。
² IP ヘッダのほか、方式依存のカウンタやタイムスタンプ情報が付加されるため、値は特定しない。

4.3.1 伝播遅延

通信キャリアが提供する IP ネットワークで用いられる伝送媒体のほとんどは、光ファイバケーブルである。光ファイバの伝播遅延は概ね 5 マイクロ秒/km³で求められるが、実際のネットワークは光ケーブル敷設ルートや WDM 伝送システムの調整ファイバ挿入により、地図上の距離より大きい値の遅延が発生する。また、ネットワークのルーティング制御により伝送経路が変更される場合には、新旧経路差相当の遅延時間が変化する。

4.3.2 ネットワーク機器遅延

IP ネットワークの構成機器による遅延は、前項の伝播遅延に比較して大きな機器遅延と状況に応じ遅延時間が変動する特徴がある。この時間変動をパケットジッタと呼び、図 4.3 のように受信側パケットの到着時間間隔が送信側パケットの送出間隔と異なる現象を言う。パケットジッタの発生源はネットワーク機器など通過装置の処理時間（遅延）であり、機器の仕様・特性・使用環境などにより大きく変化し、IP 映像伝送における映像品質劣化要因（主に映像クロック精度劣化）となる。

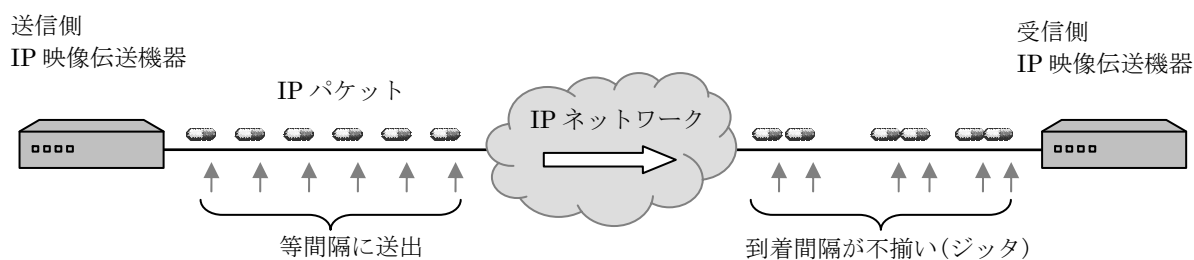


図 4-3 パケットジッタの概念

³ 現在用いられている光ファイバの代表値。光ファイバの屈折率により値は異なる。

4.3.3 ネットワークの遅延プロファイル

通信キャリアが提供する IP 通信サービスの基幹部分「コアネットワーク」の構成機器例を図 4-4 に、遅延プロファイルを表 4.1 に示す。

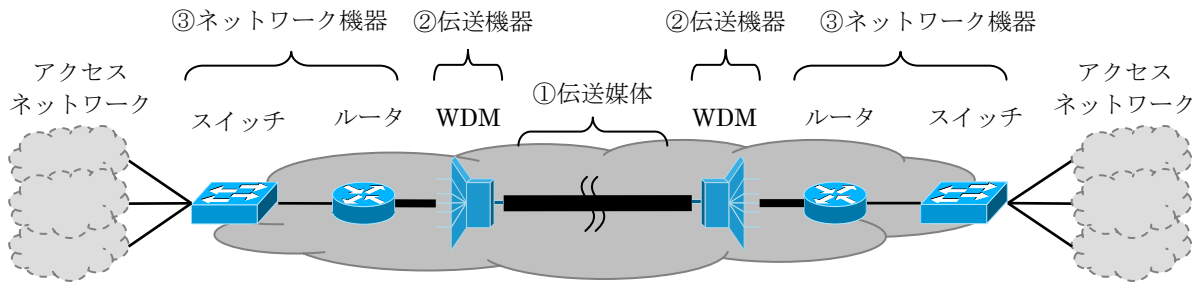


図 4-4 コアネットワークの構成機器例

表 4-1 コアネットワークの遅延プロファイル

構成機器	デバイス	遅延プロファイル	遅延変動要因
① 伝播媒体	主に光ファイバ	距離比例の物理遅延	ルート切替
② 伝送機器	光波長多重変換装置(WDM)など	エラー訂正等による一定の処理遅延 (固定遅延)	ほぼ一定
③ ネットワーク機器	ルータ	ソフトウェア処理による比較的大きなパケットジッタ	優先制御
	スイッチ	カットスルー形: 比較的小さな固定遅延とパケットジッタ	トラフィック ⁴
		ストアアンドフォワード形: カットスルー形より大きな固定遅延とパケットジッタ	トラフィック ⁴
	アダプティブカットスルー形 ⁵ : カットスルーモードとストアアンドフォワードモードのモード変更時の固定遅延差とパケットジッタ	エラー率、トラフィック ⁴	

⁴ ベストエフォート形サービスでは、共有(競合)する回線の使用状況により、曜日・時間帯・地域等でパケットジッタが大きく変動することが知られている。

⁵ エラーフリーカットスルー形ともいう。

次に、通信キャリアが提供する IP 通信サービスの端末部分「アクセスネットワーク」の構成機器例を図 4-5 に、遅延プロファイルを表 4-2 に示す。

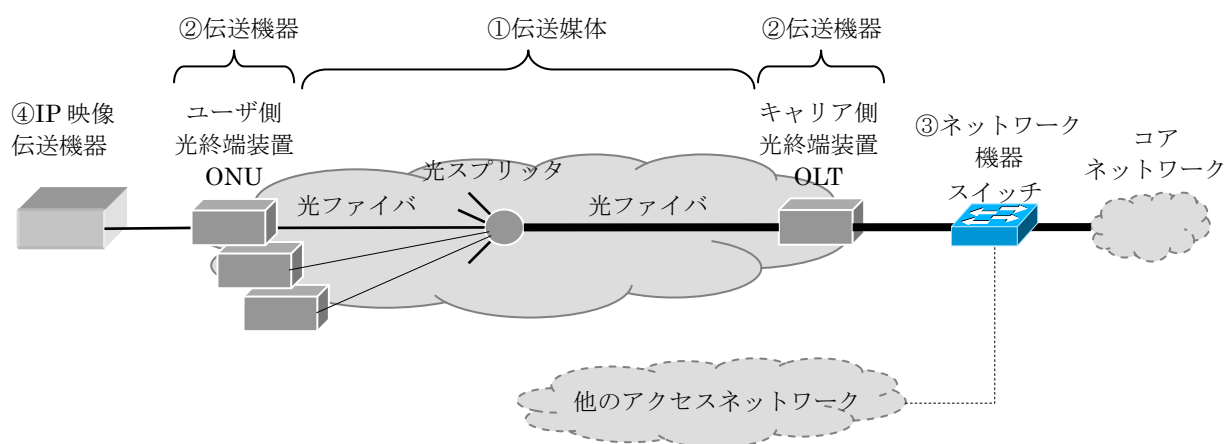


図 4-5 アクセスネットワークの構成機器例 (PDS 方式)

表 4-2 アクセスネットワークの遅延プロファイル

構成機器	デバイス	遅延プロファイル	遅延変動要因
① 伝播媒体	光ファイバなど	距離比例の物理遅延 (アクセスネットワークでは距離が近い値は小さい)	ルート切替
② 伝送機器	光終端装置 OLT/ONU など	PDS 方式の伝送順待ち合わせ ⁶	優先制御、トラフィック ⁷
③ ネットワーク機器	スイッチ	固定遅延とパケットジッタ	トラフィック ⁷
④ IP 映像伝送機器	IP コーデック、ASI-IP コンバータなど		

4.4 パケットジッタ・遅延変動対策

前項で考察したパケットジッタや遅延変動は、IP 通信サービスの品質グレードにより程度の差はあるものの、いずれのネットワークでも発生し得る現象である。特にベストエフォート形サービスでは、通信キャリア内でリソースを共有 (競合) する回線の使用状況によりパケットジッタが大き

⁶ 伝送方式により、遅延プロファイルは異なる。PDS 方式では、上り/下りの帯域は非対称の場合がある。

⁷ ベストエフォート形サービスでは、共有(競合)する回線の使用状況により、曜日・時間帯・地域等でパケットジッタが大きく変動することが知られている。

く変動するため、そのままでは放送規格に準拠する映像に復元することが困難である。ここでは、IP 伝送後のパケットタイミングを安定化する方式を考察する。

表 4-3 に掲げるいずれの方式も、IP ネットワークで受けるパケットジッタ・遅延変動量以上のバッファメモリを受信側に配置し IP パケットのデータを蓄積・放出する手法は共通であるため蓄積量分の遅延時間が加算される。

表 4-3 パケットジッタの安定化方法

パケットジッタ安定化方式	機能実装	特徴	その他
① バッファ・アダプティブ制御方式	受信側のみ	受信バッファメモリのパケット蓄積量を監視し、放出量を制御することで常に蓄積量を一定にする制御方式。 TS に含まれる PCR を参照して安定化する方式もある。	VBR 伝送に不適。長周期遅延変動に対するバッファ量の制御が難しい。IP ネットワークの状態が映像クロックに影響し易い。
② タイムスタンプ(TTS)制御方式	送・受とも	送信側で TS パケットに 4 バイトのタイムスタンプを付加して伝送する方式。受信側では、付加されたタイムスタンプに基づき TS のタイミングを再生する。	伝送レートが約 2% 増える。送・受信機器間のクロック精度が長時間伝送時の映像品質に影響する。
③ 共通クロック制御方式	送・受とも、またはネットワーク	TTS 方式を更に安定化する方式。 送受信装置間、またはネットワーク内の各装置のクロックを通信キャリア内で用いられる共通クロックに同期させるか、GPS 衛星・PTP(IEEE1588)から得られる協定世界時(UTC)と同期させ、長時間の連続伝送時にも安定化を図る。	クロック取得のためのプロセス、トポロジ、または機器が必要になる。

4.5 パケットロス

パケットロスは、IP ネットワークでパケットの一部にデータエラー発生した場合に、エラーを検出した後段の機器がそのパケットを廃棄する場合と、ネットワーク機器がその処理能力やインタフェースの帯域限界、論理的な帯域制限などを超えないようにパケット単位に廃棄した結果、受信側で認められる現象である。ネットワークにおけるエラープロファイルを表 4-4 に示す。

高品質な専用線サービスで End-End のエラーフリーを担保している IP 通信サービスを除き、IP ネットワークでは発生し得る現象である。ベストエフォート形サービスでは、パケットジッタと同様に通信キャリアでリソース共有（競合）する回線の使用状況によりパケット損失の確率が変化する。ここでは、パケットロスの発生要因と IP 伝送後のパケット損失を復元する方式を考察する。

表 4-4 IP ネットワークのエラープロファイル

構成機器		デバイス	デバイス前後のエラープロファイル	エラー変動要因
①	伝播媒体	光ファイバなど	伝送機器との組合せでランダムビットエラー ⁸ インタフェースが Ether 型の場合は、パケット 廃棄 ⁸	光損失の増減 ルート切替時に断
	②	伝送機器		
③	ネットワーク 機器	ルータ	エラーパケットの廃棄、条件制御による正常パ ケットの廃棄	優先制御、トラフィ ック ⁹
		スイッチ	カットスルー形：エラー導通	トラフィック ¹⁰
			ストアアンドフォワード形：エラーパケットの 廃棄	トラフィック ¹⁰
		アダプティブカットスルー形 ¹¹ ：カットスルー モード時にエラースルー、ストアアンドフォ ワードモード時にエラーパケットの廃棄	エラー率、トラフィ ック ¹⁰	
④	IP 映像伝送機器	IP コーデック、 ASI-IP コンバータ など	(受信側) エラーパケットの廃棄	

4.6 パケットロス対策

前項で考察したパケットロスは、IP 通信サービスの品質グレードにより程度の差はあるものの、いずれのネットワークでも発生する現象である。特にベストエフォート形サービスでは、通信キャリア内でリソースを共有（競合）する回線の使用状況によりパケットロス率が大きく変動するため、そのままでは放送規格に準拠する映像に復元することが困難である。ここでは、IP 伝送後のパケットロスを復元する方式を考察する。

現在用いられるパケットロス訂正方法を表 4-5 に示す。いずれの方式も、あらかじめ予測したパケットロス率（ランダム性、バースト性）や伝送時間を考慮した方式選定・パラメータ設定が必要であり、誤り訂正処理時間が加算される。機種により、4.4 項で述べたパケットジッタ吸収用のバッファメモリとパケットロス訂正用メモリを共有する場合があります。ジッタ補償のみに着目してバッファ量を小さく設定すると、パケットロス訂正が期待通りの動作をしない場合があるため注意が必要である。

⁸ 伝送機器にエラー訂正機能がある場合はエラーフリーとなる。

⁹ ベストエフォート形サービスでは、共有（競合）する重畳回線の使用状況により、パケットロス率が大きく変動することが知られている。曜日・時間帯・地域等が関与する場合が多い。

¹⁰ 機器能力（容量）、転送先ポートの帯域幅に対する使用率による。

¹¹ エラーフリーカットスルー形ともいう。

表 4-5 代表的なパケットロス訂正方法

エラー訂正方式	プロトコル	特徴	その他
前方誤り訂正方式 (FEC)	Pro-MPEG LDPC など	マルチキャストが可能 CBR 伝送向き 処理遅延は FEC サイズ依存	パケット補償量に応じた FEC パケットを常時伝送する必要がある。従量課金伝送サービスで通信コスト増となる。 FEC サイズで処理遅延が決まるため、遅延設計が容易。
自動再送信要求方式 (ARQ)	SAW-ARQ GBN-ARQ SR-ARQ など	ユニキャスト向き CBR、VBR 伝送も可能 処理遅延は伝送遅延 (RTT) 依存	エラー発生時に再送パケットのため伝送レートが増加する。帯域制限のあるネットワークでは使用できない場合がある。 あらかじめ再送パケット待ち合わせ分のバッファを割り当てる必要があり、特に長距離 (国際) 伝送では処理遅延が長くなる。

4.6.1 FEC 方式

FEC 方式は、送信側でメディアパケットの配列に応じた FEC パケットを生成し、受信側では伝送後のメディアパケットと FEC パケットを元のパケット配列に従い再構成して、欠落したパケットを補う方法である。双方向通信を必要としないのが特徴である。

最も簡単な 1 次元 FEC の動作原理を図 4-6 に示す。

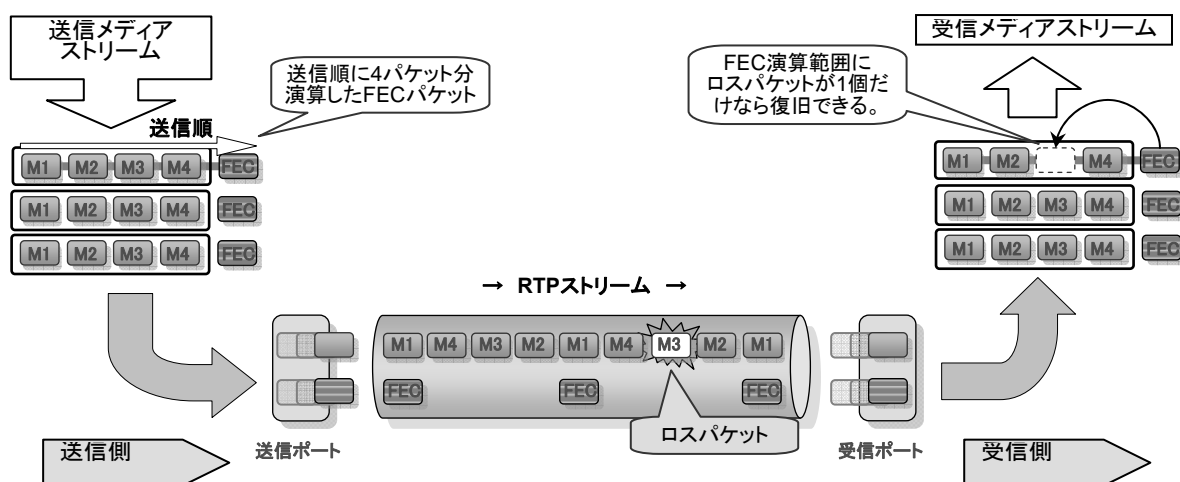


図 4-6 1次元 FEC の動作

この例では、送信順に連続した 4 個のメディアパケットに対して 1 個の FEC パケットを生成するため、1 個のパケットロスを復元できるが、バーストロスと言う 2 個以上連続したパケットロスに対しては復元が出来ない。そこで、図 4-7 のようにパケットを一定の配列に並べ、縦方向に FEC パケットを生成する方法が考えられ、さらに FEC 生成範囲を順次移動することで、縦方向のみの 1 次元 FEC でも一定のバーストロス耐性を得ることが出来る。

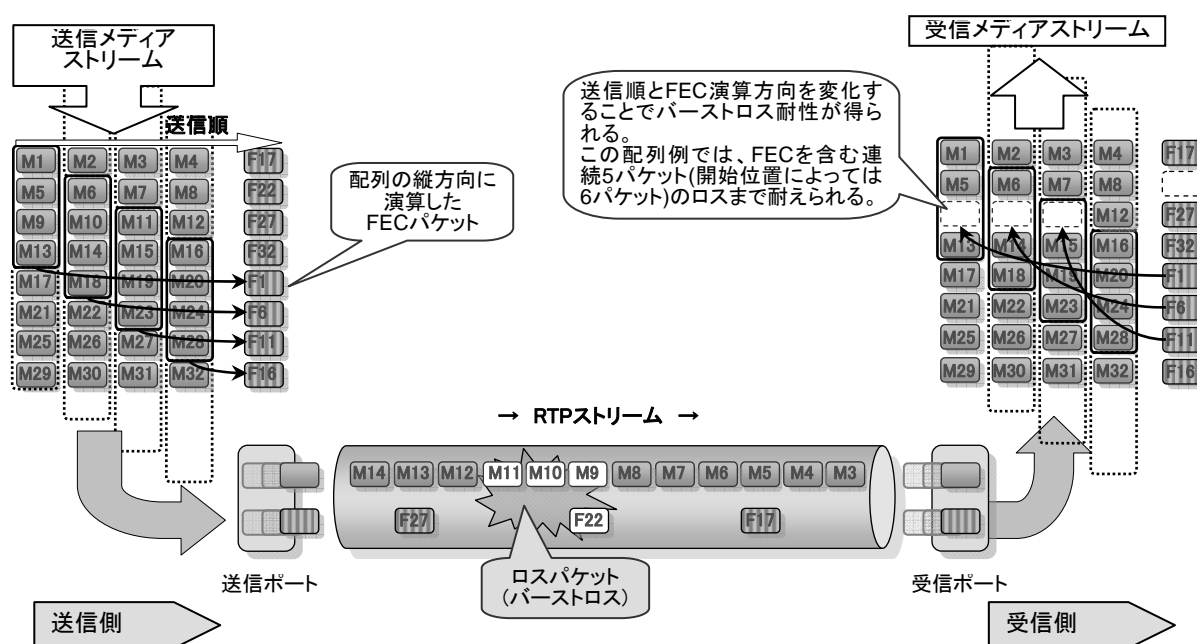


図 4-7 FEC 演算を工夫した 1 次元 FEC の例 (Pro-MPEG Annex A)

前述の 1 次元 FEC では一定量のパケットロスに対処できることを述べたが、配列を用いる方式ではサイズによって、図 4-8 の通り FEC パケットの発生量と遅延時間やパケットロス耐性の特徴が変化するため、回線コストや遅延時間等の要件に応じた考慮が必要となる場合がある。

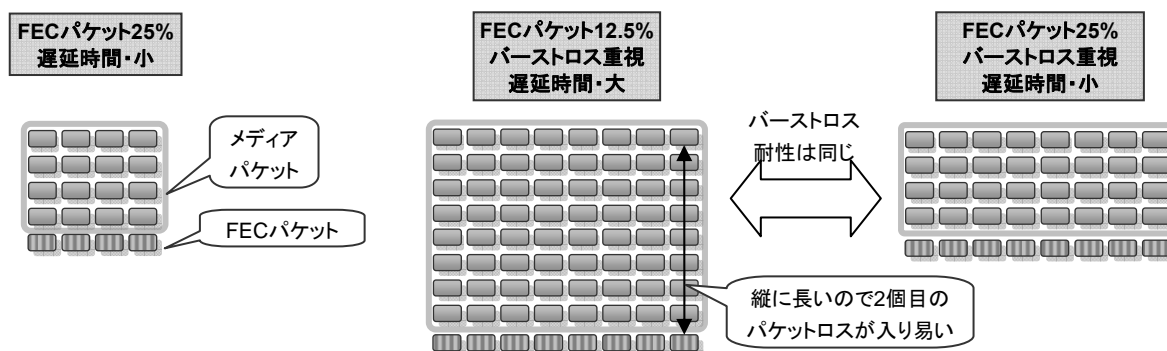


図 4-8 1 次元 FEC の配列サイズ毎の特徴

配列を用いた FEC では、配列サイズを大きくすることで FEC パケットの割合を少なく出来るが、2 個目のパケットロスが同一列上に発生すると復元出来なくなる。これに対処するため配列を用いる FEC では横方向の FEC パケットを追加した 2 次元型が考えられ、図 4-9 に示すとおり 1 次元型に比べるとパケット復元の可能性が向上している。Pro-MPEG Forum では、この FEC 方式を規格化し実装機器はメーカーに関係なく接続を可能としている。(部分準拠の場合があるので互換性には注意が必要である)

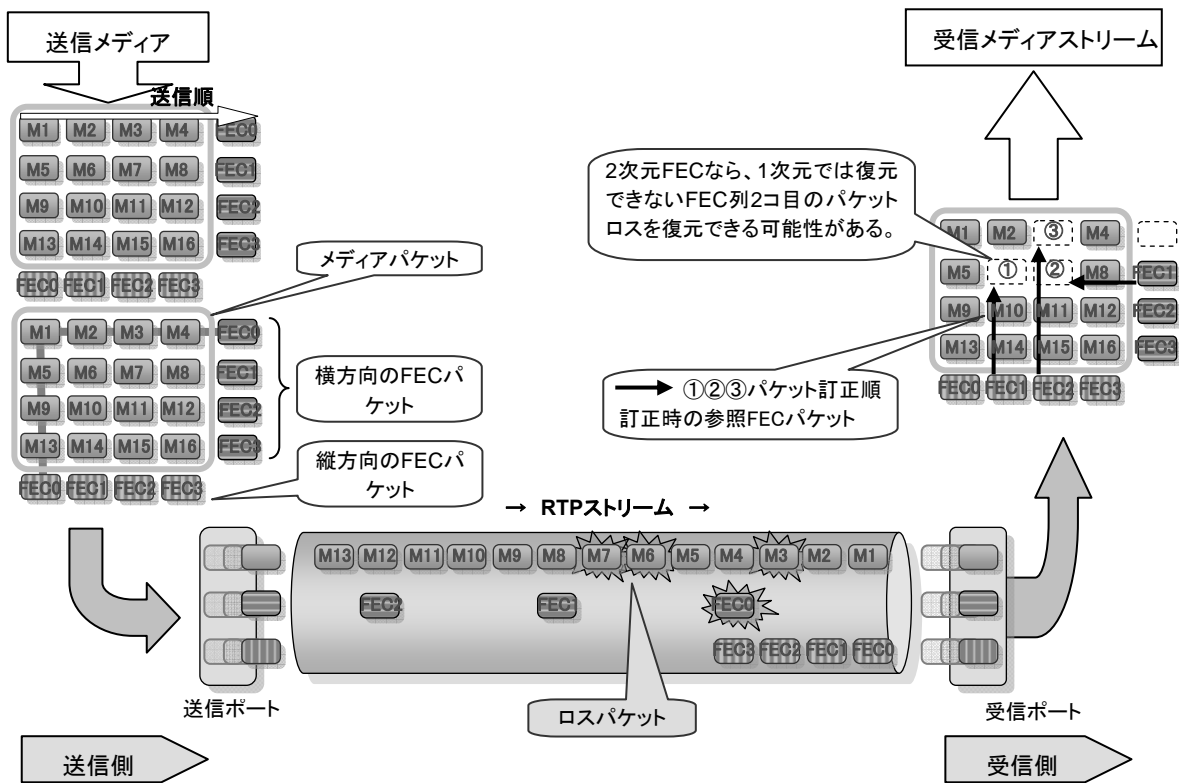


図 4-9 Pro-MPEG FEC の動作原理 (L4*D4 2次元の場合)

FEC を用いた伝送では、ネットワークの伝送時間とパケット配列を構成するための時間が必要となる。FEC の配列を完成するのに要する時間は伝送レートに反比例するため、同じ設定でもレートが高ければ、短い処理遅延で済むことになる。2次元 FEC を例に動作遅延を図 4-10 に示す。

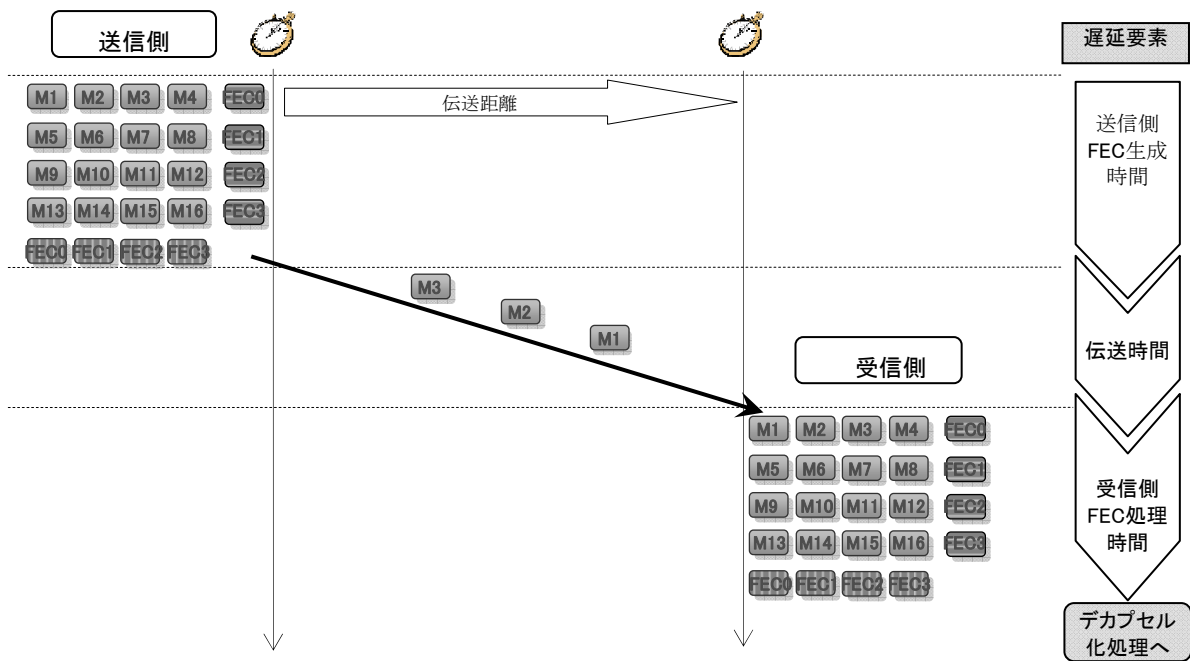


図 4-10 Pro-MPEG FEC の動作遅延 (IP レイヤのみ、L4*D4 2次元の場合)

4.6.2 ARQ 方式

ARQ 方式は、送信側・受信側が連携してパケットロスを検出、送信側に再送信要求する方式の総称であり、再送信方法により表 4-6 に示す 3 方式に大別される。

表 4-6 ARQ 方式の動作概要

	方式	動作概要
①	Stop and Wait ARQ	パケットの到達通知を待って次のパケットを送信する方式
②	Go-Back-N ARQ	複数のパケットを一括送信し、一部でも不達の場合は同量のパケットを再送信する方式
③	Selective Repeat ARQ	複数のパケットを一括送信し、不達の場合は欠落したパケットだけ再送信する方式

実際に多くの機器で実装されている SR-ARQ 方式の動作原理を図 4-11 に示す。双方向通信を必要とする点が FEC と大きく異なる。

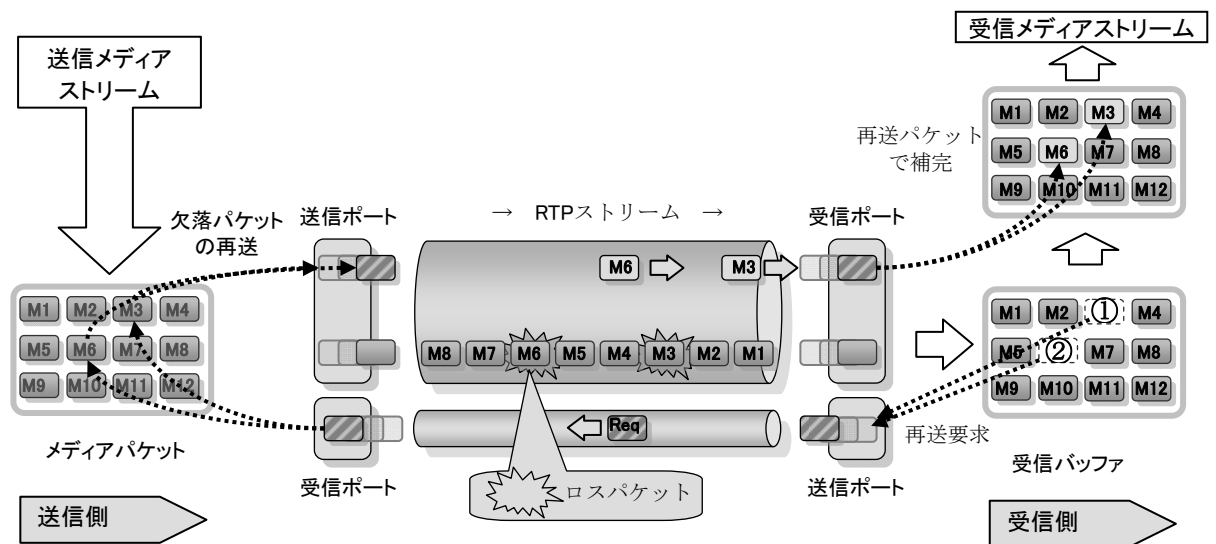


図 4-11 Selective Repeat ARQ の動作原理

ARQ の動作遅延は、待合せ時間や再送回数など FEC とは異なる要素がある。特に、再送パケットの到着待合せ時間は、双方向通信のため最低でも RTT に再送要求待ち時間を加えた以上が必要であり、失敗した場合のリトライを考慮する場合には、更に回数に乗ずる必要がある。図 4-12 に SR-ARQ の動作遅延を示す。

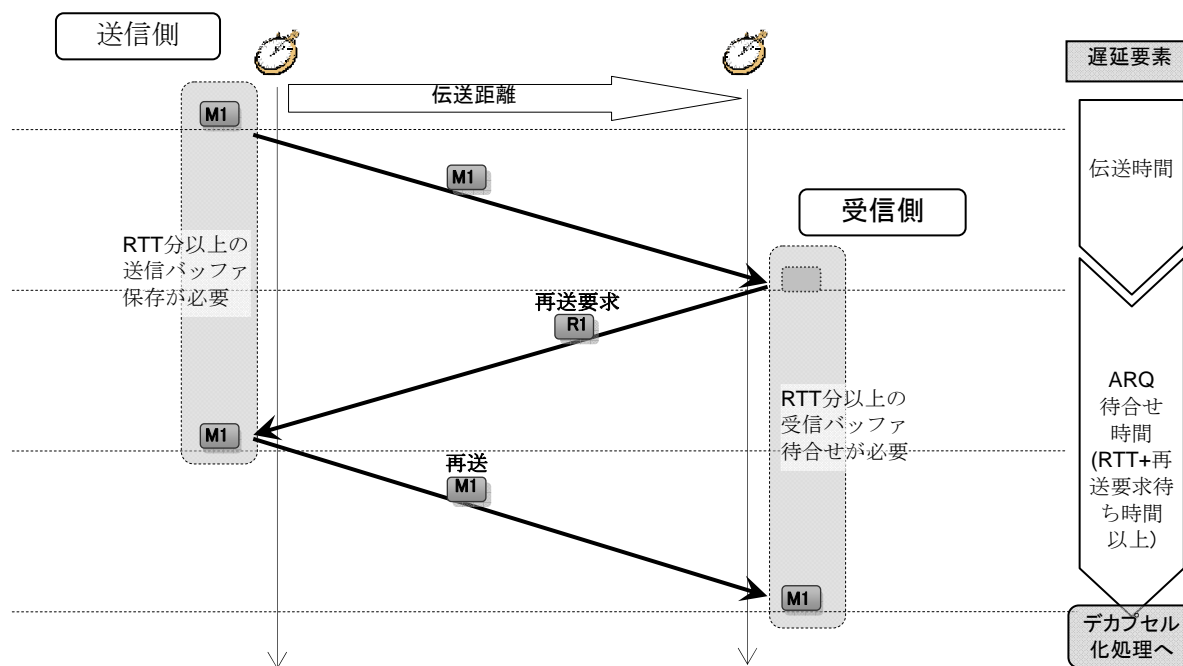


図 4-12 Selective Repeat ARQ の動作遅延

実際に ARQ を実装している機器の protocols は、方式が同じでもパケットに付与するシーケンス番号・構成、通信ポートの付与則など仕様が各社製品で異なるため、異社製品との接続が出来ない場合が多い。現在のところ、Pro MPEG FEC のような統一された仕様は無い。

4.6.3 パケットロス対策が伝送遅延に与える影響

前項までに述べたパケットロス対策は、各方式毎に異なる処理遅延を生じることから、方式による遅延の傾向を比較して図 4-13 に示す。簡単化のため、機器の処理時間・応答時間を無視し、図に付記した条件により TS10Mbps 相当のストリームモデルによる RTT に応じた伝送遅延時間を以下の計算式によって求めた結果である。

・ FEC 方式

$$1 \text{ 次元の場合 } T = T_p * L * (1 + 1/L)^{*} + (R_{TT} * 0.5)$$

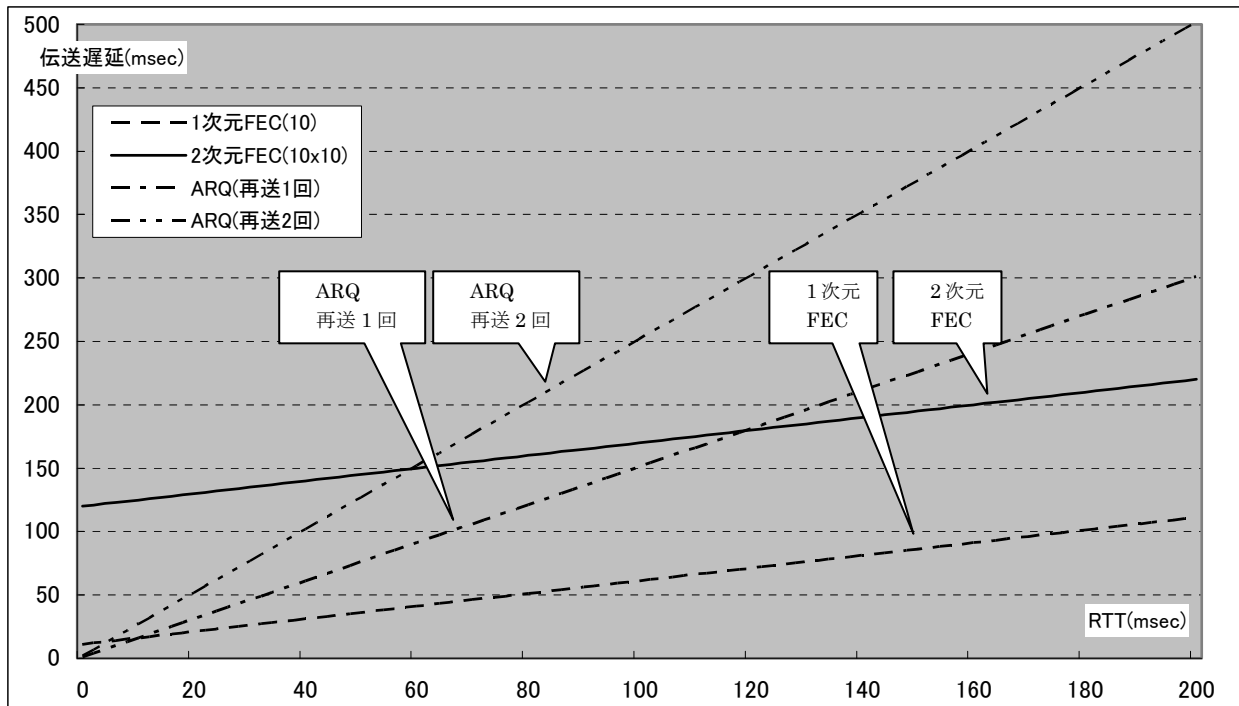
$$2 \text{ 次元の場合 } T = T_p * (L * D)^{*} * (1 + 1/L + 1/D)^{*} + (R_{TT} * 0.5) \quad ※ : \text{ FEC パケット挿入待合せ時間相当}$$

・ ARQ 方式

$$T = T_p * R_{eq} + R_{TT} * (R_{eq} + 0.5)$$

T: 伝送遅延時間 (=伝播遅延+パケットロス復元処理時間)
 Tp: パケット間隔時間 (本例では概ね 1msec)
 RTT: IP パケットの往復時間
 L, D: FEC 配列サイズ L=横、D=縦のパケット数
 Req: SR-ARQ で言う再送要求回数

なお、実際の機器では、余裕度を考慮したバッファの実装や設定をするため、本式より大きな遅延が発生する。また、IP レイヤのパケット生成点やパケット到達点は装置内部に閉じた部分であるため評価が難しく、計算値と実値には差異がある可能性に注意されたい。



条件
 1IP パケット=7TS パケット、メディア TS10Mbps(≒1000IP パケット/sec)
 1次元 FEC …… 送信順単純配置 10 個につき FEC1 個 (FEC10%)
 2次元 FEC …… Pro-MPEG 準拠の L=10、D=10 正方配置 (FEC20%)
 ARQ …… 送信単位 1 パケットの SR-ARQ、再送要求待ち時間=1 パケット時間

図 4-13 パケットロス復元方式別伝送遅延時間

4.7 ネットワーク試験

近年、IP レイヤの映像測定需要により、図 4-14 のように従来 DVB-ASI に対応していた TS アナライザが Ethernet/IP に対応し、また、IP アナライザが映像ストリームの解析に対応するなど、測定器には様々なアプローチがある。用途・目的に応じた測定器の使い分けが必要であり、IP 映像伝送のためのネットワーク試験に用いる測定器について考察する。

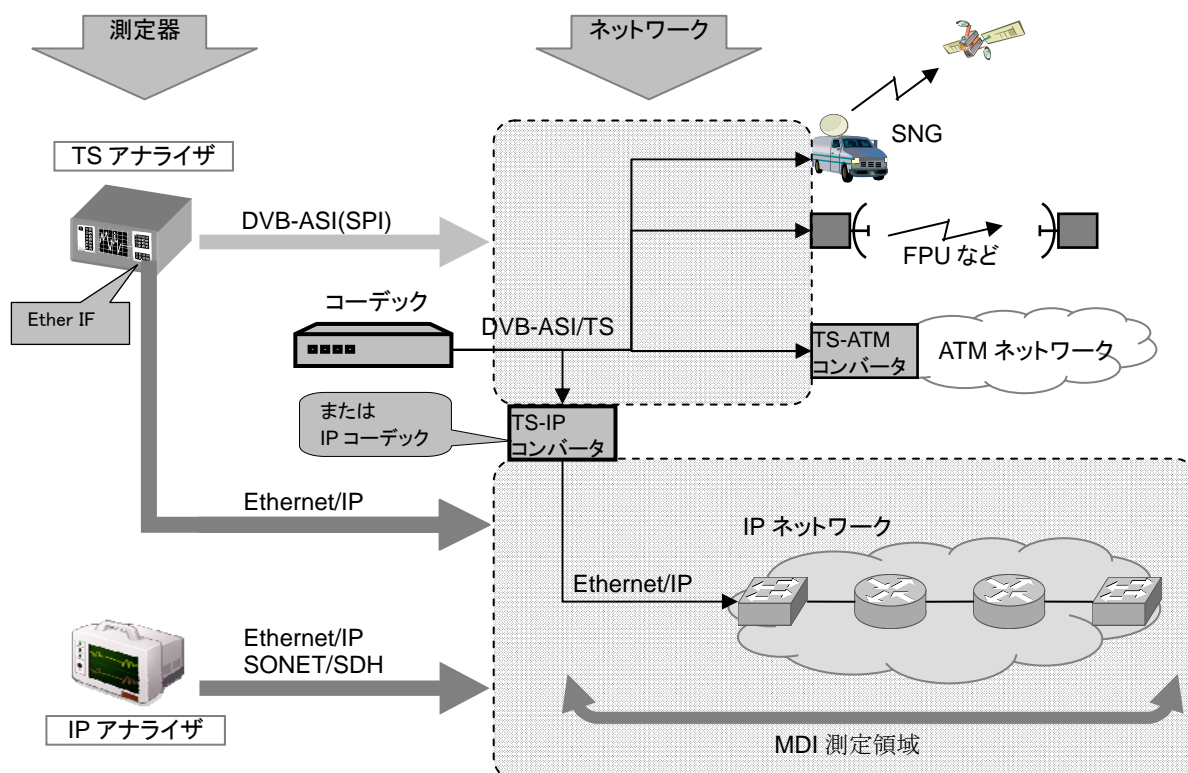


図 4-14 試験対象ネットワークと測定器の概要

4.7.1 測定器

近年の映像関連測定器は、従来の測定器のようにハードウェアから測定項目まで固定メニュー化された専用測定器から、PC ベースのプラットフォームに物理インタフェースを搭載し、アプリケーションによって測定機能・項目を制御する形態が多くなった。表 4-7 に、圧縮系映像伝送に適用可能な代表的な測定器を分類して示したが、いずれも IP インタフェースを具備するため、分類間の区分は曖昧になりつつある。

表 4-7 IP 映像伝送に関連する測定器の例

測定器種別		TS アナライザ	IP アナライザ	MDI 専用測定器	汎用 PC
測定項目等		Ether-IF			
物理 IF/ プロトコル		DVB-ASI (DVB-SPI)	SONET/SDH 他		
		Ethernet/IP	Ethernet/IP	Ethernet/IP	Ethernet/IP
TS 解析		◎ エラーチェック可能。 PCR 測定は、測定器 の特性を考慮する必 要がある。	×	×	×
IP 測定 ・ 解 析	Ping 試験	◎	◎	○	◎
	IP テストパケ ット送信	△ ストリーム記録、再生 で可能	◎ 任意のパラメータで生成・ 解析が可能	×	△ アプリケーション 依存
	IP テストパケ ット受信・解 析	○	◎ パケットジッタなどを高精度 に解析可能	○	△ アプリケーション 依存
	MDI 測定	○	○	◎	×
	折返し・転送 機能	△ 機種依存	○ 詳細機能機種依存	○ 任意のストリームを別 アドレスに転送可能。	△ アプリケーション 依存
主な映像伝送用 途		MPEG-TS 解析が主機能。 Ether-IF の搭載で IP パケットから 映像ストリームを抽出し、一部の TS 解析が出来るようになった。	広範な IP インタフェースに 対応する IP 専用測定器。 アプリケーションを追加して 受信パケットから映像スト リームを解析できるので、 MDI 測定にも対応できる。	IP インタフェースから 映像ストリームを抽出 して MDI を測定する 専用測定器。	簡易な疎通確認 ツールとして利 用。

凡例 ◎:主機能、○:機種依存等制限がある、△:制限・制約が多い、×:不可

※現在市販されている代表的な機器から要約した。本表により測定器類の機能を定義・制限するものではない。

4.7.2 疎通確認方法 (ping)

映像伝送に用いる IP ネットワークの疎通確認は、IP コーデックの接続に先立ち PC による ping 試験で疎通確認をすることが多い。図 4-15 に示すように送・受信場所に PC を配置し、送信側 PC より Echo request パケットを送信し、受信側 PC が応答した Echo reply パケットを送信側 PC が受取って疎通状況を判断する。

ここで得られる情報は、パケットロスのほか往復伝送遅延時間など有用なデータが多いが、ping(ICMP)を禁止しているネットワークでは利用できないため注意が必要である。また、一般に PC の ping で送出されるパケットのデータサイズは、主に 32 バイトであり、映像伝送に用いるデータサイズ (約 1,300~1,400 バイト) と比べ極端に小さいため、ping のデフォルト設定で疎通出来たととしても MTU や帯域制限により映像伝送に適さないことがある。その場合には、実際に伝送するパケットを模した ping パケットサイズ・送出間隔 (通信レート) を設定し、試験することが必要である。

ネットワークによっては、通信方向の上り／下りの帯域余裕度が異なる場合があります、この帯域の違いを映像伝送の送受信帯域非対称性にあてはめ利用する場合は、ping 試験による疎通確認が適当でない場合もある。

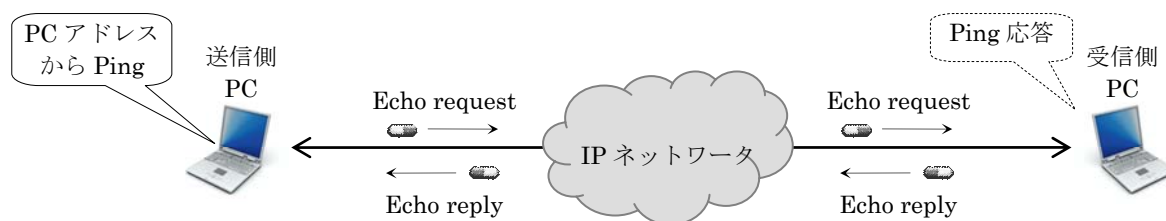


図 4-15 PC を用いる IP ネットワークの疎通確認

また、一部の IP コーデック、TS-IP コンバータでは、図 4-16 に示すように制御 PC からの遠隔指示により IP コーデックのネットワークアドレスから ping 試験を実施できるものがあり、トラブルの際に有用である。

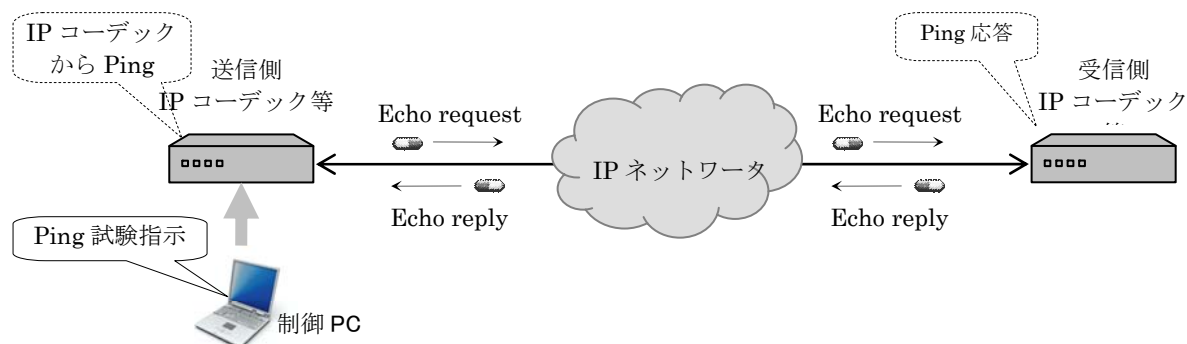


図 4-16 IP コーデックからのリモート ping 試験

4.7.3 IP アナライザによる回線評価 (MTU・PORT・帯域・伝送遅延・パケットロス・MDI の測定)

前述した ping によるネットワーク疎通確認方法は、簡易な手法として広く用いられているが、開通前のネットワーク評価や開通後のトラブルシューティングに対しては十分なデータが得られない。この場合、IP アナライザ¹²と呼ばれる測定器により回線評価することが有効である。IP アナライザにより評価・試験できる項目の一例を表 4-8 に示す。

図 4-17 に示す試験構成では、送信側 IP コーデックに代わる IP アナライザから Test Packet を送

¹² 物理インタフェース(Ethernet,POS 等)を持ち、試験パケット生成・送信機能、パケット受信機能、パケット解析機能を具備する測定器の総称として用いる

出し、対向する端末でそのまま折り返し、再び送信側の IP アナライザでパケット受信することでネットワークを通過する影響の解析を行うことが出来る。この構成では、基本的に ping 試験と同様に、疎通確認、MTU、帯域、往復伝送遅延(RTT)が得られるほか、優先制御やフィルタ設定のあるネットワークに対応しては Test Packet のプロトコルタイプやポートをあらかじめ設定できるため、より実際の映像伝送を模擬した試験が可能となる。

なお、折り返しにより片道ごとの影響が相殺/重畳される懸念やマルチキャストネットワークの評価については、図 4-18 に示すとおり、同様の IP アナライザを受信側にも配置することで片道のみの解析が可能となる。受信点の到着パケットのみの測定では求められない片道伝送遅延時間¹³については、GPS 衛星¹³や PTP(IEEE-1588)¹³など高精度信号源による協定世界時(UTC)に同期することで、 μ 秒精度の測定が期待できる。

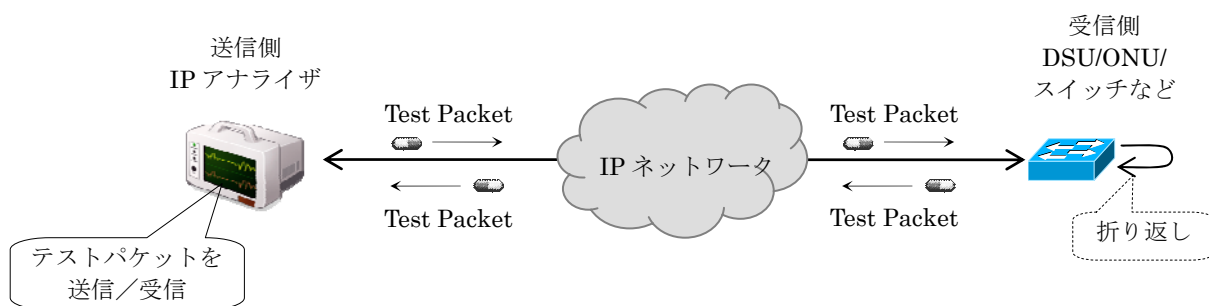


図 4-17 折り返しによるネットワーク評価試験

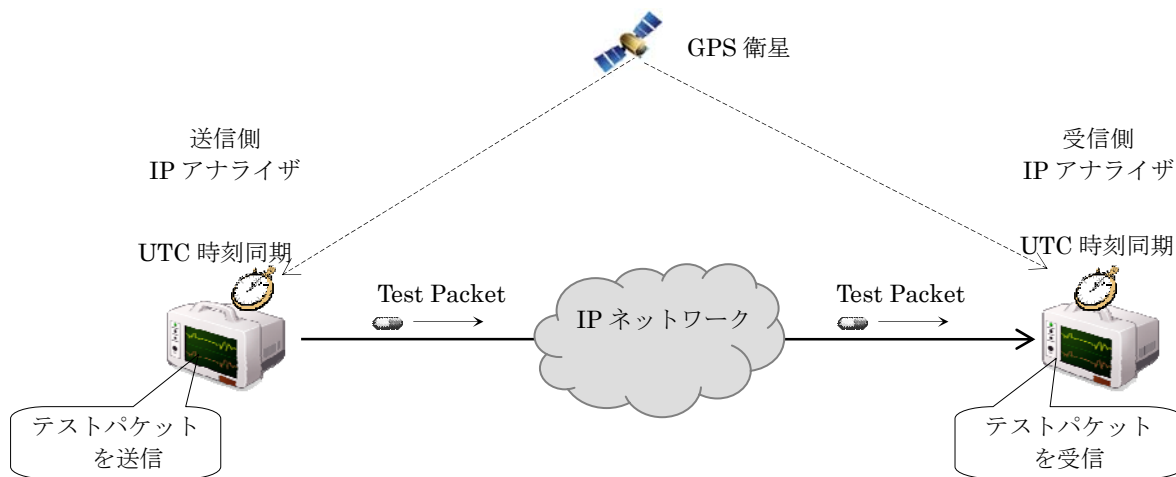


図 4-18 片道伝送遅延時間の測定構成 (GPS 衛星利用の場合)

¹³ 片道遅延の測定機能、GPS 等 UTC 同期機能の有無は、測定器の仕様による。

表 4-8 IP アナライザの試験項目の例（一部）

試験分野	試験要素	試験項目	現象・原因等
タイミング系 (受信)	パケット間隔	パケットジッタ ¹⁴	・パケット毎の到着時間差。
		固定遅延変動 ¹⁴	・一時的にパケット間隔がジッタと異なる状態から推定。(=ルート切替など)
		MDI-DF ¹⁵	・MDI(Media Delivery Index)の遅延係数 DF(Delay Factor)のこと。映像パケットに特化した遅延変動評価向き。
	伝送遅延時間	往復遅延時間(RTT)	・終点側折り返しの試験ネットワークに Test-Packet を送受信することで得られる値。(≒ping の RTT ¹⁶)
		片道遅延時間	・Test-Packet のデータ領域に、送信点の協定世界時(UTC)などのタイムスタンプを重畳送信し、受信側では受信パケットと受信点の時刻と比較して得られる値。測定器は、GPS や PTP(IEEE-1588)等から得られる高精度の時刻同期が必要。
プロトコル系 (受信)	物理層 データリンク層	リンク断	・測定器直近の配線障害など物理的な断。
		ネット断	・ネットワーク経路中の断。
	ネットワーク層	フラグメント	・ネットワークで起きるパケット分割。
		データエラー	・パケットのデータエラー。(エラーパケットを廃棄しないカットスルー型のスイッチネットワーク)
	上位層	パケットロス ¹⁴	・伝送中のエラーや優先制御等により廃棄されるパケットロス。
		パケット重複 ¹⁴	・伝送中に起きるパケット重複。
		パケット順序入替 ¹⁴	・伝送中に起きるパケット順序入替。
		MDI-MLR ¹⁵	・MDI(Media Delivery Index)のメディア損失率 MLR(Media Loss Rate)のこと。映像パケットに特化したパケット損失評価向き。
アプリケーション系(送信)	試験パケット生成	パケット(データ)レート パケットサイズ プロトコルタイプ ポート等	・IP コーデックの代わりにパケット生成する場合のパラメータ。ネットワークの疎通を確認したり、負荷をかけたりする場合にはそれぞれ調整して用いる。

4.7.4 TS アナライザによる映像ストリーム評価 (MDI)

近年、IP コーデックなど DVB-ASI インタフェースを介さず、IP インタフェースで直接送受信できる映像機器の台頭にあわせ、IP ネットワーク上の映像ストリームの特性を直接評価する尺度が要望された。MDI(Media Delivery Index)は REC4445 として勧告され、物理インタフェースから目的の MPEG-TS を抽出し、毎秒ごとのパケットジッタ (仮想バッファサイズ)・パケットロス率を数値化する指標である。

¹⁴ 5.4 項で述べる IP エミュレータの設定パラメータとして取得する。

¹⁵ MDI(Media Delivery Index) RFC4445 として 2006 年に勧告。IP アナライザや TS アナライザに実装され普及しつつある。

¹⁶ PC による ping の RTT は、測定粒度が msec であり、受信機器の EchoReply パケットの生成時間が加算されるため、一般に μ sec 単位の測定をする IP アナライザとは微差を生じる。

MDI 計測機能を備える測定器は、ネットワークに直接挿入する MDI 測定専用機のほか、従来から利用されている TS アナライザに、IP インタフェースを設けた機器や、前項で取り上げた IP アナライザの解析機能に映像ストリームを扱う機能を備える機器が開発されている。

測定器の挿入方法は、図 4-19 に示す通り、①MDI 測定専用機を割り込ませる方法、②あらかじめ TAP(Test Access Point)またはスプリッタを挿入して分岐する方法、③スイッチ等でモニタポートを設定する方法が挙げられる。スイッチ等でモニタポートを設定する場合は、直前のセグメントでデータエラーしたパケットがスイッチで削除され、またスイッチ固有の遅延特性が MDI に影響するため、得られた値が後段の機器に対する特性とは異なる場合があることに注意が必要である。

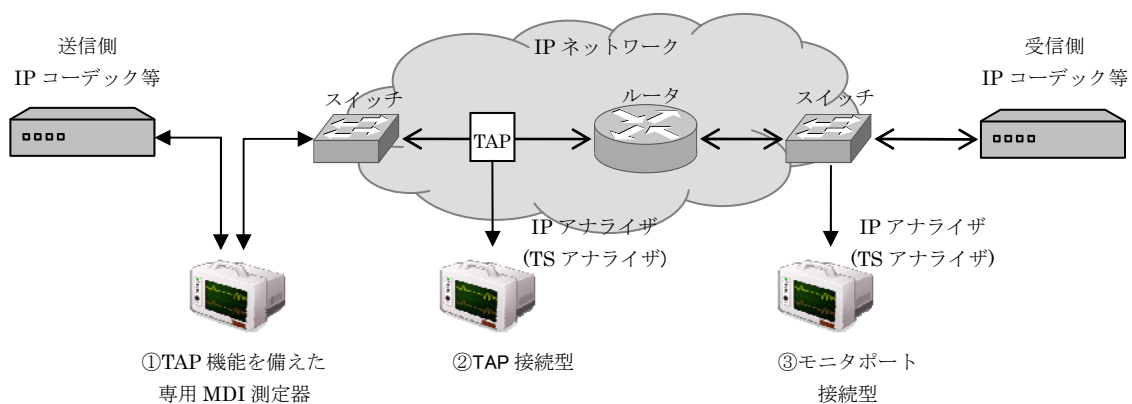


図 4-19 MDI 測定器のネットワーク挿入形態の例

これら測定器で求める MDI の 2 つの評価情報は、「DF : MLR」の形式で得られる。

DF : Delay Factor (遅延係数)

MLR : Media Loss Rate (メディア損失率)

なお、MDI は CBR 伝送 (固定レート伝送) の測定法として普及したが、従量制回線のコスト低減を目的に無効データの削除 (NULL 削除) を行う VBR 伝送 (可変レート伝送) には適さないため、新たな測定手法の検討がなされている。

第5章 IP 伝送品質劣化対策と映像伝送品質確保

5.1 はじめに

本章では、IP 伝送品質劣化対策の効果とデメリットを整理した上で、映像伝送品質確保のためにどう運用に適用していけばよいのかについて、二つの観点より考察を行った。一つは、実運用における IP 映像伝送システムの最適化についての考察、もう一つは、実運用を想定した IP 映像伝送機器（IP コーデック）の機器選定評価方法についての考察である。

5.2 IP 伝送品質劣化対策とそのデメリットについて

表 5-1 に、IP 伝送品質劣化要因とそれによる映像品質への影響、その対策、デメリット、留意点を示す。

5.2.1 パケットジッタ・遅延変動

遅延変動による映像品質への影響は、主に映像信号の乱れ（ビデオクロック変動）、映像フレーム不連続（スキップ／リピート）という形で現れる。

その対策としては、(1) デコーダ装置のジッタ吸収バッファを大きくする、(2) デコーダのビデオクロックを固定発振器や外部同期クロックとする、といったものが考えられる。

対策(1)では遅延時間の増加、対策(2)では定期的にフレーム不連続が発生というデメリットが存在する。

5.2.2 パケットロス

パケットロスによる映像品質への影響は、デコードエラー発生によるデコード画面の乱れという形で現れる。対策としては、(1) 誤り訂正符号(FEC)の利用、(2) 自動再送要求機能(ARQ)の利用、(3) 符号化レートを下げる（a: 符号化解像度の見直し、b: 符号化パラメータ見直し）といったものが考えられる。

対策(1)ではネットワーク利用帯域増加というデメリットがあり、ネットワーク帯域に余裕がない場合、パケットロス増加要因となる可能性がある。対策(2)では再送用バッファによる遅延時間増加、マルチキャスト対応不可、というデメリットが存在する。対策(3)では、映像品質劣化というデメリットが存在する。

表 5-1 IP 伝送品質劣化要因とその対策

IP 伝送品質劣化要因	映像品質への影響	対策方法	対策のデメリット,留意点
パケットジッタ・遅延変動（固定遅延変動、パケット到着時間のばらつき）	<ul style="list-style-type: none"> ・ベースバンド映像信号のクロックジッタが大きくなる（規格を外れる） ・映像乱れ、ノイズなどの発生 ・スキップ／リピートの発生 	ジッタ吸収バッファ量を増やす	・遅延時間の増加
		デコーダーのビデオクロックとして固定発振器、外部同期クロックを使用	・定期的スキップ／リピートの発生
パケットロス	<ul style="list-style-type: none"> ・デコードエラーの発生 ・固定画面、フリーズ、崩れた映像（デコードエラー発生時のデコーダー装置の仕様（設定）により変わる） 	誤り訂正符号を使う（FEC（インターリーブ有／無）、Pro MPEG FEC）	・伝送路上の利用帯域増加 ⇒パケットロス発生 ⇒実質符号化レート低下
		再送機能を使う（ARQ）	・遅延時間増加 ・マルチキャスト配信不可 ・（業界）標準規格がなく、他社相互接続困難
		（ネットワーク帯域の限界でパケットロスが生じている場合）	
		符号化レートを下げる	・主観映像品質劣化
		符号化解像度を下げ、映像品質が許容できる範囲内で符号化レートを下げる（1920→1440, 960等）	・解像度劣化
利用シーンに適したGOP構造（ピクチャ構成、GOP周期）を採用、映像品質が許容できる範囲内で符号化レート（伝送レート）を下げる	・想定外のシーンでは映像品質劣化の可能性がある ・エラーリカバリー時間が長くなる		

5.3 IP 映像伝送システムにおけるコーデック動作パラメータの決定方法

図 5-1 に、コーデックの動作パラメータの決定方法をフローチャートとして示す。

図 5-2 に、コーデックの動作パラメータの中からパケットロス対策に関するパラメータについてその決定方法の詳細をフローチャートとして示す。

5.3.1 IP 映像伝送システムパラメータの決定

まず、始めに、①用途、②優先すべき品質項目、③目標値、④IP 配信方式の 4 つの条件が明確になっていることが重要である。これらの条件が明確になっていないと、何を優先してパラメータを決定すべきかを判断できず、最適なパラメータ設定が難しくなる。

次に、使用する IP ネットワークについて、①パケットロス、②往復伝送時間(RTT)、③伝送遅延時間変動（ジッタ）の 3 つの項目を測定する。その測定結果と前提条件を基に、最初のコーデックパラメータを決定し、目標とする伝送品質を満足できているのかを疎通確認する。その結果、満足

できなければ、コーデックパラメータの見直しと、疎通確認を再度実施し、満足できるまでこのフローを繰り返す。

疎通確認の実施期間は、固定的運用を行うのであれば月曜日～日曜日までの IP ネットワーク変動の影響を確認するため、1 週間実施することが望ましい。(図 5-1 参照)

5.3.2 パケットロス対策パラメータの決定

始めに、①用途、②優先すべき品質項目、③目標値、④IP 配信方式の 4 つの条件を基に、エンコーダーの符号化関連パラメータを仮決めした後、パケットロス対策無し（誤り訂正機能無）の状態です疎通確認を実施し、パケットロス発生状況を確認する。パケットロス率やバースト性の結果により、FEC 方式だけで目標を満足する可能性があるかと判断できれば、FEC 方式での疎通確認を実施し、実運用に堪えるかどうかを判断する。なお、FEC 方式には複数の種類が存在し、FEC パケットの挿入率等の設定が必要であるため、疎通確認では、挿入率の変更や FEC 方式を変更し（変更可能な装置の場合）、確認を繰り返す作業が必要となる。FEC 方式だけで目標を満足できないと判断した場合、自動再送機能(ARQ)を確認する手順へ移る。

ARQ を使うには、再送用バッファ分の遅延時間増加が問題にならないか、ARQ が使えない IP 配信方式（マルチキャスト）を使っていないか、再送用パケットが通過できるネットワーク環境となっているか等を確認する必要がある。

ARQ が使える場合は、RTT 値を基にして再送バッファ量の少ない設定から疎通確認を実施し、遅延時間を含め満足できる伝送品質となっているかを確認する。

ARQ が使えない場合や、ARQ を使っても満足できる遅延時間や伝送品質を達成できない場合は、実用上堪えうる範囲内で符号化パラメータの見直し（伝送レート引き下げ）を行い、再び疎通確認を実施することとなる。(図 5-2 参照)

■前提条件

- 1) 下記4条件が明確になっていること。
 - ①用途：素材伝送、情報カメラ（固定）、ライブ中継（片方向）、ライブ中継（双方向）、情報カメラ（カメラ制御有）
 - ②優先項目：映像品質（主観画質、アベイラビリティ）優先、リアルタイム性（遅延時間小）優先、速報性優先
 - ③目標値：遅延時間、映像符号化レート／符号化解像度
 - ④IP 配信方式：ユニキャスト、マルチキャスト
- 2) IP ネットワーク、コーデックそのものについて評価／選定する手順は、本フローに含まれていない。

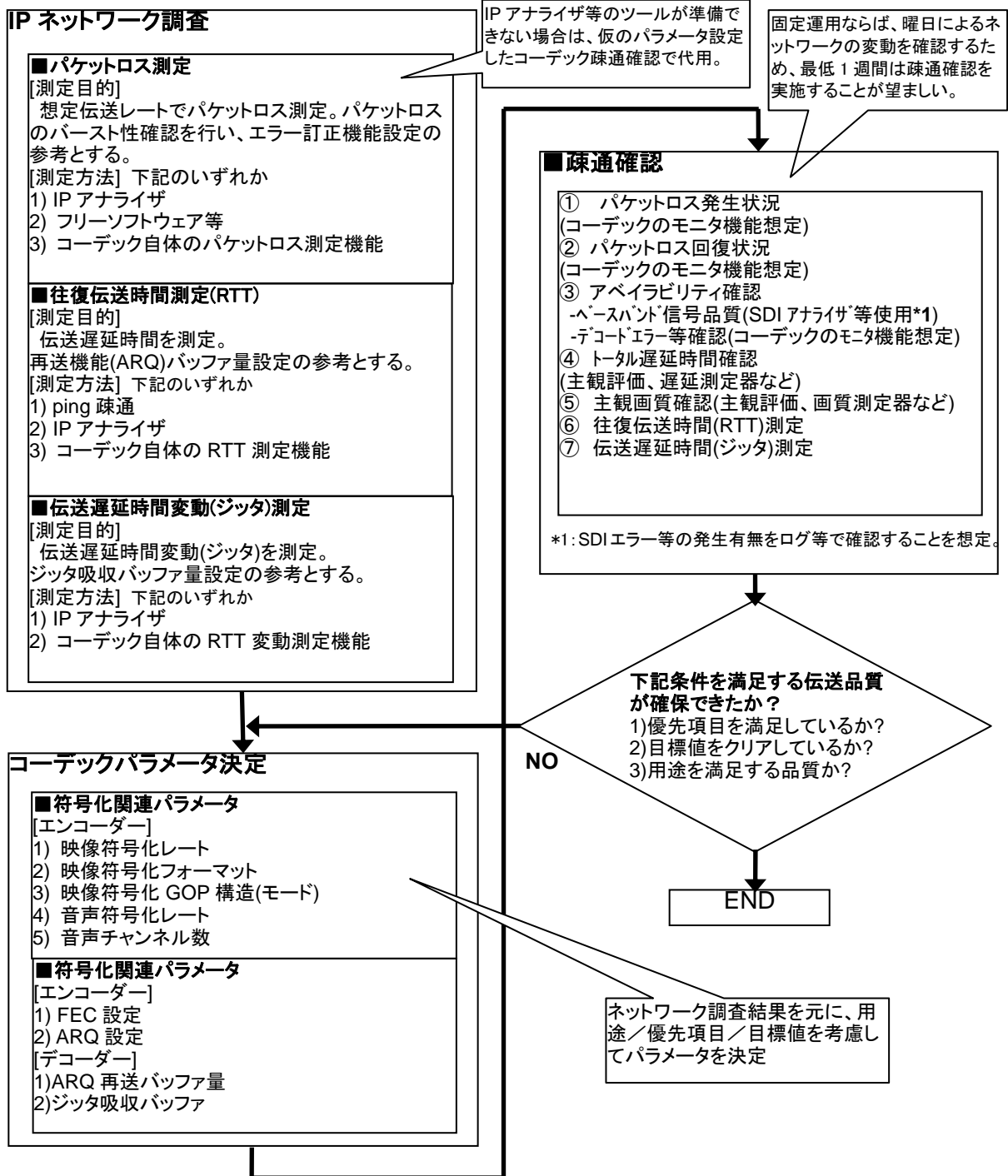


図 5-1 IP 映像伝送システムパラメータ決定フロー

■前提条件

- ・パケットロス対策で必要となるコーデックパラメータを決定するフローのみ記載。
- ・FEC（誤り訂正）方式（一次元、二次元等）の選択方法まではフロー化していない（後述）。

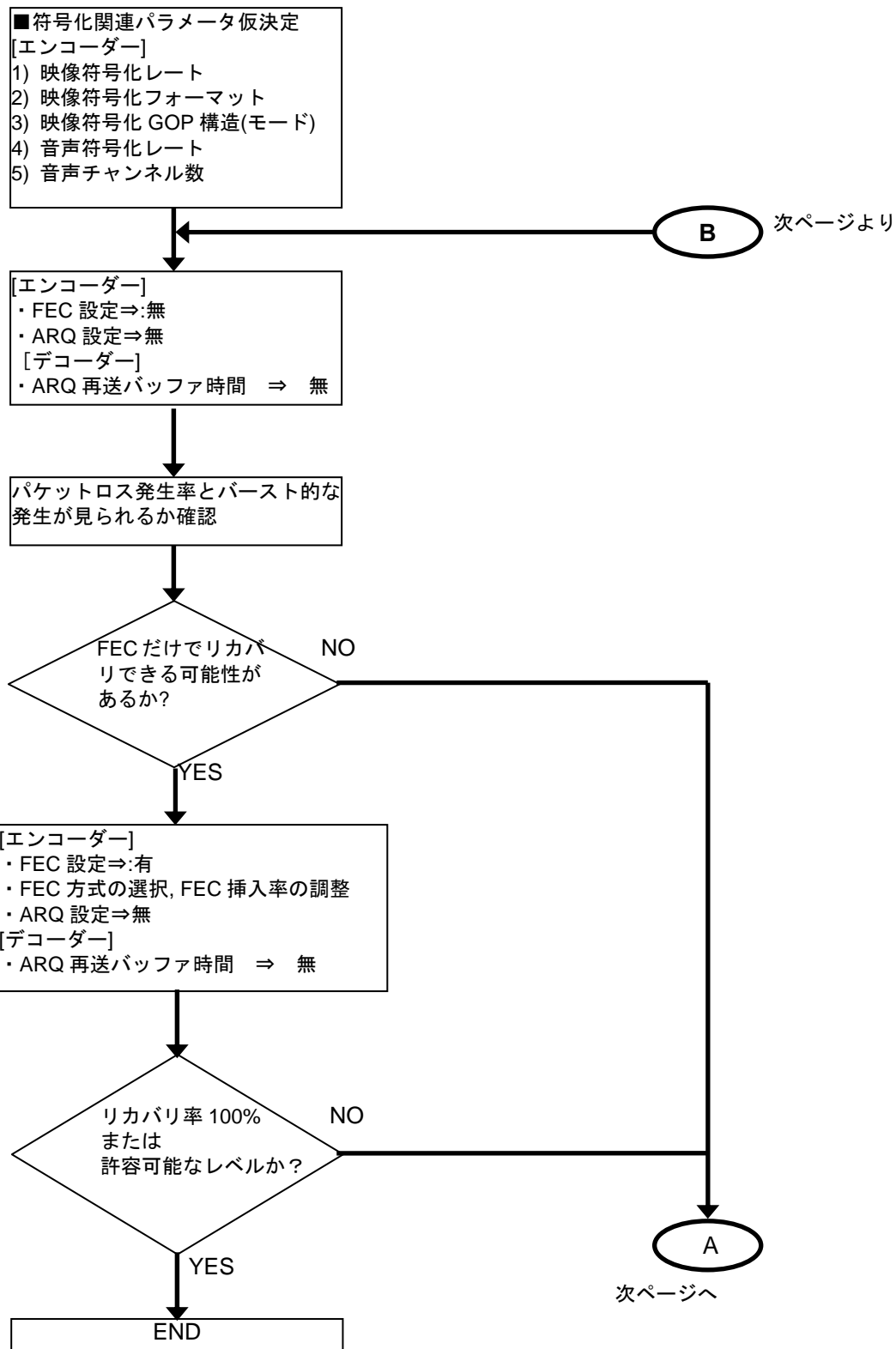
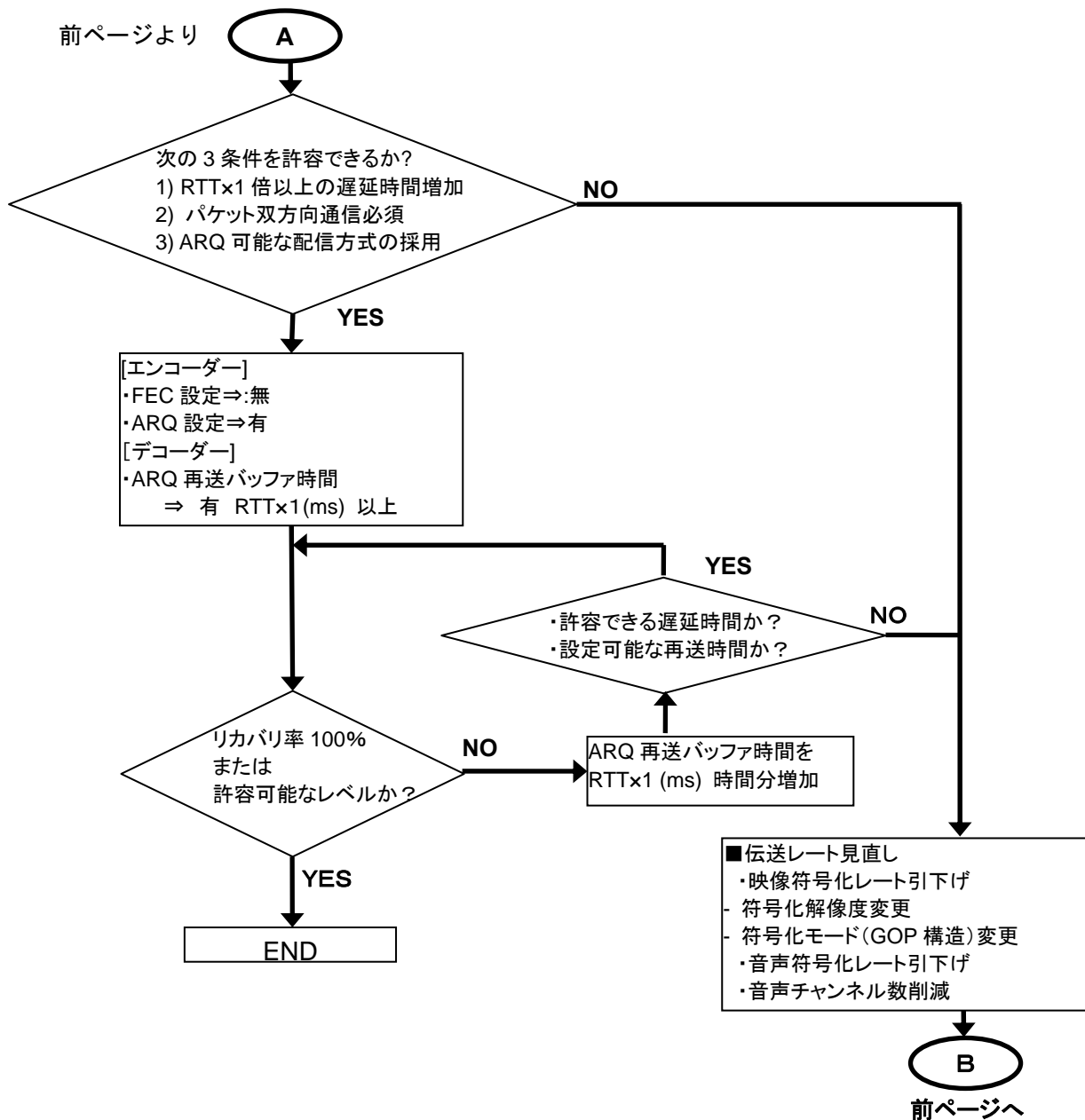


図 5-2 パケットロス対策パラメータ決定フロー(1/2)



■パケットロス対策方式の種類と選択について

本フローチャートでは、下表のように、複数存在するパケットロス対策方式の選択方法については言及していない。複数のパケットロス対策方式を選択可能な装置では、ARQを試す前に、遅延時間の少ない(=リカバリ能力の低い)パケットロス対策方式からその効果と遅延時間を確認し、遅延時間の多い(=リカバリ能力の高い)方式を試していくこととなる。

パケットロス対策方式	リカバリ能力 (順位)	処理遅延時間
ARQ+FEC	1	大
ARQ	2	大
二次元 FEC+シャッフル	3	中
二次元 FEC	4	小~中*1
一次元 FEC+インターリーブ	5	小~中*1
一次元 FEC	6	小

*1: レートが低くなると遅延時間が無視できない程度となる。

図 5-2 パケットロス対策パラメータ決定フロー(2/2)

5.3.3 ネットワークサービスの変更

IP 伝送品質劣化対策を実施してもなお目標とする伝送品質が確保できない場合、ネットワークサービスの変更（プロバイダやサービス種などの変更）によって伝送品質を改善することも有効である。ベストエフォート型の回線の場合は、必ずしも費用と伝送品質に相関がないので、数種のサービスで伝送品質の事前評価を行い、ネットワークサービスを選定することが望ましい。

5.4 IP 映像伝送機器評価

IP コーデックなど IP 映像伝送機器を選定するにあたり、一般にはカタログスペックなどの公開情報を基に検討するが、放送用途の高信頼性を検証する場合には、実際のネットワークに挿入して試験運用するか、仮想ネットワーク環境を作り、機器の性能・耐力（余裕度）を評価する必要がある。ここでは、仮想ネットワークツールとして広く利用されているネットワークエミュレータを用いた評価手法を考察する。

ネットワークエミュレータでは、リンク断、パケットロスやデータエラー、パケットジッタなど実際のネットワークで起こり得る状態や、規格外の異常状態を擬似再現することができ、4.7.3 項の IP アナライザの測定項目に関連している。IP 映像伝送機器に重要な試験要素は、IP パケットロス（バースト性、ロス率）とパケットタイミング変動（ジッタ、固定遅延変動）が主であり、これらの量・頻度を適宜組み合わせることで機器の特性を評価することが出来る。これら試験は表 5-2 のように試験観点に基づいて行われるべきであり、結果として用途に対する IP 映像伝送機器の適否、ネットワーク関連パラメータの適否を確認するために有効である。

表 5-2 ネットワークエミュレータを用いる試験観点と評価観点の例

	試験レベル	評価観点	具体的評価項目
①	IP アナライザから求めた実ネットワークの再現	・実ネットワークで安定動作するか確認	・映像安定性（ノイズ、フリーズ等） ・SDI コンプライアンス（ジッタ、エラー、クロック偏差等）
②	想定するネットワーク仕様（想定最悪状態）	・想定ネットワークで安定動作するか確認 ・装置設定値の余裕度評価	・伝送遅延時間の安定性 ・カウンタ、エラーログ、警報発出等の動作確認
③	仕様限界・規格限界（装置限界）	・装置仕様、規格限界の動作確認 ・装置の余裕度評価	
④	規格外、仕様外の異常状態	・ネットワーク異常状態での機器状態確認 ・異常状態からの復旧動作確認	・引込み安定性、再現性 ・カウンタ、エラーログ、警報発出等の動作確認

ネットワークエミュレータに設定する各試験パラメータは、4.7.3 項の IP アナライザで得られる実際のネットワークの測定値を導入するか、測定値より厳しく設定して余裕度を評価したり、機器の期待動作を確認する場合には、機器（方式）性能から逆算した限界値を設定することも可能である。実際の設定値が得られないか不十分な場合には、表 5-3 に示す ITU-T G.1050 Table 14 で定義

されるネットワーク障害と発生頻度を参考にすることも考えられる。

機器類の試験構成例は、図 5-3 の通り、IP ネットワークの両端に接続される IP 映像伝送機器に挟み込む形でネットワークエミュレータを接続し、実際のスイッチ・ルータ等のネットワーク環境を置換・再現する。

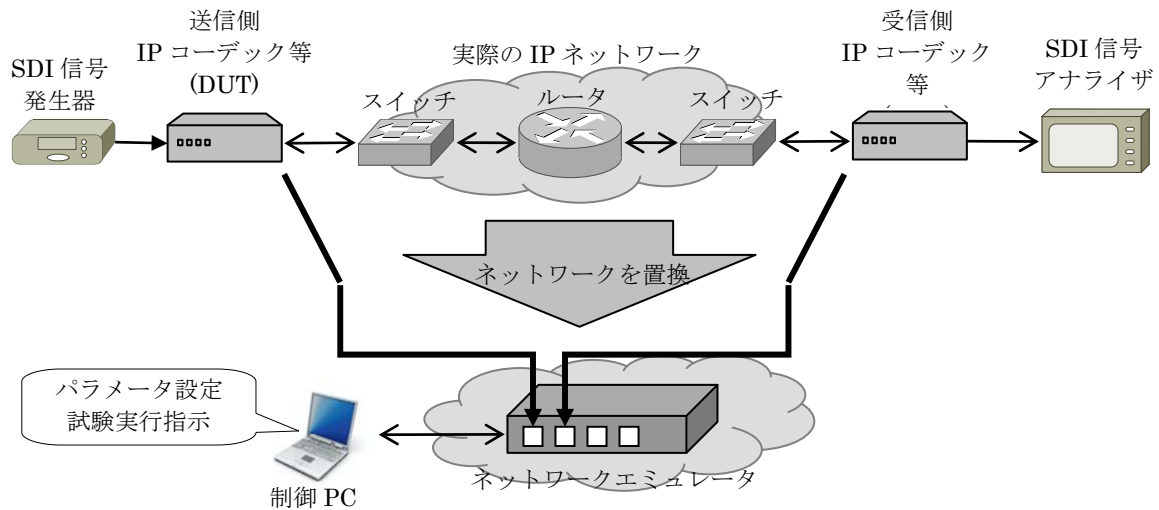


図 5-3 IP 映像伝送機器の試験構成例

表 5-3 ITU-T G.1050 Table 14 で定義されるネットワーク障害と発生頻度
(コアネットワーク部分抜粋)

障害内容	重大度		A	B	C	D	E	F	G	H
	Units									
Profile A 発生頻度	%		50	30	15	5				
Profile B 発生頻度	%		5	25	30	25	10	5		
Profile C 発生頻度	%		5	5	10	15	20	25	15	5
Core Network Impairments										
Route flap interval	seconds		0	3600	1800	900	480	240	120	60
Route flap delay	ms		0	2	4	8	16	32	64	128
Delay (regional)	ms		4	8	16	32	64	128	256	512
Delay (intercontinental)	ms		16	32	64	128	196	256	512	768
Jitter (peak to peak)	ms		5	10	24	40	70	100	150	500
Link fail interval	seconds		0	3600	1800	900	480	240	120	60
Link fail duration	ms		0	64	128	256	400	800	1600	3000
Packet loss	%		0	0.01	0.02	0.04	0.1	0.2	0.5	1
Reorder factor	%		0	1	2	3	4	6	8	10

第6章 IP 映像伝送システム構築事例

6.1 はじめに

5章で説明したIP映像伝送システム（エンコーダー／デコーダー）の動作パラメータと、それによる遅延量や帯域について、下記条件を前提として具体的な数値を参考例として示す。

なお、下記システム要件は、これを推奨するものではない。あくまでも説明の上で設定したシステム要件である。

■IP映像伝送システム要件

トータル遅延	0.5～1 秒
映像符号化レート	10Mbps 以上
伝送映像	HD フォーマット
映像符号化方式	H.264/AVC

■想定ネットワーク環境 --- G.1050 より

ネットワーク分類	パケットロス	ジッタ	遅延
よく管理されたネットワーク	0～0.05%	0～50ms	20～100ms
管理されたネットワーク	0～2%	0～150ms	20～100ms

■想定コーデック処理遅延時間（標準と低遅延の2種） --- 映像符号化レート 10Mbps 想定

コーデックタイプ	標準モード時	低遅延モード時
標準タイプ	1000ms	300ms
低遅延タイプ	500ms	50ms

6.2 よく管理されたネットワークにおける事例

6.2.1 ビデオレート 10Mbps 固定、コーデック遅延量 [標準タイプ] 想定

■よく管理されたネットワーク条件		最大値
パケットロス	0~0.05%	0.05%
ジッタ	0~50ms	50ms
遅延	20~100ms	100ms

■CODEC遅延時間 (標準的スペック)	
標準モード	1000ms
低遅延モード	300ms

◆注意事項◆
 本表記載の数値は、IP映像伝送における設定項目/方法を説明するため、想定条件に基づいた推定値です。推奨、動作保証するものではありません。

機能	設定パラメータ	設定事例1 ■映像品質・ アベイラビリティ優先		各部 推定 遅延 時間	設定事例2 ■リアルタイム性優先		各部 推定 遅延 時間
推定伝送レート		13.0	Mbps		14.7	Mbps	
推定伝送遅延時間		1.6	秒		0.5	秒	
レート設定	映像符号化レート(Mbps)	10	10Mbps固定	-	10	10Mbps固定	-
	音声符号化レート(Kbps)	384		-	384		-
	音声ステレオCH数	1		-	1		-
FEC	FEC 挿入割合(%)	10%	パケットロス率と再送(ARQ)との併用を考慮して10%に設定したと想定	-	25%	再送(ARQ)無をカバーするため、パケットロス率0.05%に効果あるレベルまで挿入割合引き上げると想定	-
ジッタ吸収バッファ	ジッタ吸収バッファ量 (ms)	60ms	最大ジッタ50msにマージン10msを追加したと想定	0.06	60ms	同左	0.06
再送(ARQ)	再送(ARQ)バッファ量 (ms)	400ms	2回以上の再送を想定し、RTTの2倍(伝送遅延の4倍)の時間を設定	0.4	0	遅延時間削減優先のためARQ無とした。	0
映像符号化	GOP構造	IBBP	符号化効率(画質)がよいGOP構造。但し、時間(遅延)は大きい	1	PPPP	IBピクチャを使わないイントラスライス方式により遅延時間を短くできる。但し、符号化効率(画質)はIBBPに劣る。	0.3
	解像度(ドット)	1920 × 1080		-	1440 × 1080	イントラスライスモード採用による主観画質低下を補うため、符号化時の解像度を下げると想定	

6.2.2 ビデオレート 10Mbps 固定、コーデック遅延 [低遅延タイプ] 想定

■よく管理されたネットワーク条件		最大値
パケットロス	0~0.05%	0.05%
ジッタ	0~50ms	50ms
遅延	20~100ms	100ms

■CODEC遅延時間 (低遅延タイプスペック)	
標準モード	500ms
低遅延モード	50ms

◆注意事項◆
 本表記載の数値は、IP映像伝送における設定項目/方法を説明するため、想定条件に基づいた推定値です。推奨、動作保証するものではありません。

機能	設定パラメータ	設定事例1 ■映像品質・ アベイラビリティ優先		各部 推定 遅延 時間	設定事例2 ■リアルタイム性優先		各部 推定 遅延 時間
推定伝送レート		13.0	Mbps		14.7	Mbps	
推定伝送遅延時間		1.1	秒		0.2	秒	
レート設定	映像符号化レート(Mbps)	10	10Mbps固定	-	10	10Mbps固定	-
	音声符号化レート(Kbps)	384		-	384		-
	音声ステレオCH数	1		-	1		-
FEC	FEC 挿入割合(%)	10%	パケットロス率と再送(ARQ)との併用を考慮して10%に設定したと想定	-	25%	再送(ARQ)無をカバーするため、パケットロス率0.05%に効果あるレベルまで挿入割合引き上げると想定	-
ジッタ吸収バッファ	ジッタ吸収バッファ量 (ms)	60ms	最大ジッタ50msにマージン10msを追加したと想定	0.06	60ms	同左	0.06
再送(ARQ)	再送(ARQ)バッファ量 (ms)	400ms	2回以上の再送を想定し、RTTの2倍(伝送遅延の4倍)の時間を設定	0.4	0	遅延時間削減優先のためARQ無とした。	0
映像符号化	GOP構造	IBBP	符号化効率(画質)がよいGOP構造。但し、時間(遅延)は大きい	0.5	PPPP	IBピクチャを使わないイントラスライス方式により遅延時間を短くできる。但し、符号化効率(画質)はIBBPに劣る。	0.05
	解像度(ドット)	1920 × 1080		-	1440 × 1080	イントラスライスモード採用による主観画質低下を補うため、符号化時の解像度を下げると想定	

6.3 管理されたネットワークにおける事例

6.3.1 ビデオレート 10Mbps 固定、コーデック遅延量 [標準タイプ] 想定

■管理されたネットワーク条件		最大値					
パケットロス	0~2%			2%			
ジッタ	0~150ms			150ms			
遅延	20~100ms			100ms			
■CODEC遅延時間(標準的スペック)							
標準モード				1000ms			
低遅延モード				300ms			

◆注意事項◆
 本表記載の数値は、IP映像伝送における設定項目/方法を説明するため、想定条件に基づいた推定値です。推奨、動作保証するものではありません。

機能	設定パラメータ	設定事例1 ■映像品質・ アベイラビリティ優先		各部 推定 遅延 時間	設定事例2 ■リアルタイム性優先		各部 推定 遅延 時間
推定伝送レート		15.3	Mbps		18.8	Mbps	
推定伝送遅延時間		1.9	秒		0.6	秒	
レート設定	映像符号化レート(Mbps)	10	10Mbps固定	-	10	10Mbps固定	
	音声符号化レート(Kbps)	384		-	384		
	音声ステレオCH数	1		-	1		
FEC	FEC 挿入割合(%)	30%	パケットロス率と再送(ARQ)との併用を考慮して30%に設定したと想定	-	60%	再送(ARQ)無をカバーするため、パケットロス率2%に効果あるレベルまで挿入割合引き上げると想定	-
ジッタ吸収バッファ	ジッタ吸収バッファ量 (ms)	160ms	最大ジッタ160msにマージン10ms追加したと想定	0.16	160ms	同左	0.16
再送(ARQ)	再送(ARQ)バッファ量 (ms)	600ms	バースト抜けを考慮、3回以上の再送を想定し、RTTの3倍(伝送遅延の6倍)の時間を設定	0.6	0	遅延時間削減優先のためARQ無	0
映像符号化	GOP構造	IBBP	符号化効率(画質)がよいGOP構造。但し、時間(遅延)は大きい	1	PPPP	I,Bピクチャを使わないイントラスライス方式により遅延時間を短くできる。但し、符号化効率(画質)はIBBPに劣る。	0.3
	解像度(ドット)	1920 × 1080		-	1440 × 1080	イントラスライスモード採用による主観画質低下を補うため、符号化時の解像度を下げると想定	

6.3.2 ビデオレート 10Mbps 固定、コーデック遅延 [低遅延タイプ] 想定

■管理されたネットワーク条件		最大値					
パケットロス	0~2%			2%			
ジッタ	0~150ms			150ms			
遅延	20~100ms			100ms			
■CODEC遅延時間(低遅延タイプスペック)							
標準モード				500ms			
低遅延モード				50ms			

◆注意事項◆
 本表記載の数値は、IP映像伝送における設定項目/方法を説明するため、想定条件に基づいた推定値です。推奨、動作保証するものではありません。

機能	設定パラメータ	設定事例1 ■映像品質・ アベイラビリティ優先		各部 推定 遅延 時間	設定事例2 ■リアルタイム性優先		各部 推定 遅延 時間
推定伝送レート		15.3	Mbps		18.8	Mbps	
推定伝送遅延時間		1.4	秒		0.3	秒	
レート設定	映像符号化レート(Mbps)	10	10Mbps固定	-	10	10Mbps固定	
	音声符号化レート(Kbps)	384		-	384		
	音声ステレオCH数	1		-	1		
FEC	FEC 挿入割合(%)	30%	パケットロス率と再送(ARQ)との併用を考慮して30%に設定したと想定	-	60%	再送(ARQ)無をカバーするため、パケットロス率2%に効果あるレベルまで挿入割合引き上げると想定	-
ジッタ吸収バッファ	ジッタ吸収バッファ量 (ms)	160ms	最大ジッタ160msにマージン10ms追加したと想定	0.16	160ms	同左	0.16
再送(ARQ)	再送(ARQ)バッファ量 (ms)	600ms	バースト抜けを考慮、3回以上の再送を想定し、RTTの3倍(伝送遅延の6倍)の時間を設定	0.6	0	遅延時間削減優先のためARQ無	0
映像符号化	GOP構造	IBBP	符号化効率(画質)がよいGOP構造。但し、時間(遅延)は大きい	0.5	PPPP	I,Bピクチャを使わないイントラスライス方式により遅延時間を短くできる。但し、符号化効率(画質)はIBBPに劣る。	0.05
	解像度(ドット)	1920 × 1080		-	1440 × 1080	イントラスライスモード採用による主観画質低下を補うため、符号化時の解像度を下げると想定	

<余白>

第7章 まとめ

7.1 まとめ

IP ネットワーク特有の品質劣化要因への対応策は、遅延時間の増加や映像品質劣化などのデメリットを伴うため、一定のネットワーク環境では、リアルタイム性の確保や、映像品質向上の施策とは両立できない。従って、IP 映像伝送の品質確保で重要なことは、IP 映像伝送の用途／目的が明確になっており、IP 映像伝送システムの設定方針（リアルタイム性、映像品質、アベイラビリティの各項目について優先順位、及びその良否判断基準）が決まっていることである。設定方針が決まっていれば、本ガイドラインを参考に、限られたネットワーク環境下で最適な設定を見出すことが容易になると考える。

7.2 今後の課題

IP 映像伝送用コーデックでは、異なるメーカー間での相互接続性が必ずしも保証されていないことが多く、異なるメーカーのコーデックを接続する場合、事前に接続性の確認を行う必要がある。特に、パケットロス対策機能（FEC、ARQ）については、メーカー毎に実装方式が異なる場合が多く、接続できてもパケットロス対策機能が機能しない場合があり、注意が必要である。今後、相互接続性をどう確保していくのが課題と考えられる。

制作・取材用リアルタイムIP映像伝送における
品質確保のためのガイドライン

技 術 資 料

ARIB TR-B34 1.0版

平成23年12月 1.0版第1刷発行

発 行 所

一般社団法人 電 波 産 業 会
〒100-0013 東京都千代田区霞が関1-4-1
日土地ビル11階

電 話 03-5510-8590
F A X 03-3592-1103
