

TTC標準
Standard

JT-G709.1

フレキシブル OTN 共通要素

Flexible OTN common elements

第2版

2025年2月20日制定

一般社団法人
情報通信技術委員会

THE TELECOMMUNICATION TECHNOLOGY COMMITTEE



本書は、一般社団法人情報通信技術委員会が著作権を保有しています。
内容の一部又は全部を一般社団法人情報通信技術委員会の許諾を得ることなく複製、転載、改変、転用及びネットワーク上での送信、配布を行うことを禁止します。

目次

<参考>	5
1. 適用範囲	7
2. 参考文献	7
3. 定義	7
3.1 他の文書で定義されている用語	7
3.2 本標準で定義される用語	8
4. 略語及び頭字語	8
5. 慣例	10
6. イントロダクションおよびアプリケーション	11
6.1 短距離 FlexO インタフェース	11
6.2 長距離 FlexO インタフェース	12
7. 構造とプロセス	12
7.1 基本信号構造	12
7.2 処理と情報フロー	13
8. FlexO フレームとメンテナンス	13
8.1 フレーム構造	13
8.2 マルチフレーム構造	13
8.3 ビットレートとフレーム周期	14
8.4 FlexO-x(e)フレーム構造	14
8.5 FlexO メンテナンス	15
9. オーバーヘッド	16
9.1 アライメントメカニズム	16
9.2 基本オーバーヘッド(BOH)の説明	16
9.2.1 マルチフレームアライメント信号(MFAS)	17
9.2.2 グループ管理オーバーヘッド	18
9.2.3 ステータス(STAT)	19
9.2.4 ペイロードオーバーヘッド	20
9.2.5 巡回冗長検査(CRC)	21
9.2.6 FlexO 管理通信チャンネル(FCC1)	22
9.2.7 FlexO 予約オーバーヘッド(RES)	22
9.2.8 OTN 同期メッセージチャンネル(OSMC)	22
9.3 拡張オーバーヘッド(EOH)の説明	24
9.3.1 FlexOfec オーバーヘッド	24
9.3.2 FlexOsec オーバーヘッド	25
9.3.3 FlexO 再生オーバーヘッド(regen)	27
10. FlexO マッピング手順	29
10.1 OTUCn クライアントの FlexO-n への BMP マッピング	29
10.1.1 OTUCn の分配と OTUC インスタンスの結合	29
10.1.2 FlexO マルチフレームペイロード	30
10.1.3 OTUC から FlexO マルチフレームペイロードへのマッピング	31
10.1.4 クライアントマッピング固有のオーバーヘッド	32
10.2 イーサネットクライアントの FlexO-ne への GMP マッピング	32

10.2.1	FlexO フレームおよび 4 フレームマルチフレームのペイロード構造	33
10.2.2	イーサネットクライアント	36
10.2.3	クライアントマッピング固有のオーバーヘッド	37
10.2.4	y00GBASE-R クライアントを FlexO-ne の y 個の FlexO インスタンスにマッピング することについて	39
10.3	OTUCn クライアントを FlexO-n に GMP マッピングする	40
10.3.1	OTUCn _i の分配と OTUC インスタンスの結合	41
10.3.2	FlexO フレームおよび 4 フレームマルチフレームのペイロード構造	41
10.3.3	クライアントマッピング固有のオーバーヘッド	43
10.3.4	OTUCn _i を FlexO-n の n _i 個の FlexO インスタンスにマッピングする	45
10.4	FlexO-n グループのアライメントとデスクュー	46
10.4.1	OTUCn クライアントのアライメントとデスクュー	46
10.5	FlexO ペイロード PRBS テストパターン	46
10.5.1	クライアントマッピング固有のオーバーヘッド	47
付属資料 A	FlexOsec 暗号化と認証	48
A.1	GCM-AES-256 フレームペイロード暗号化	48
A.1.1	GCM-AES-256 機密性(暗号化)	48
A.1.2	GCM-AES-256 完全性(認証)	49
A.1.3	IV の構築	51
A.1.4	GCM-AES-256 アルゴリズム	51
付属資料 B	FlexO-n(e)における汎用マッピング手順の原則の適用	53
B.1	FlexO-n(e)における GMP の適用	53
B.1.1	マッピングの粒度	53
B.1.2	FlexO C _m (t)の符号化と復号化	55
B.1.3	FlexO ΣC _{nD} (t)の符号化と複合化	57
付属資料 C	イーサネットクライアントのトランスポートおよび再生におけるローカル劣化とリ モート劣化	58
C.1	イーサネットクライアント CSTAT LD/RD	58
C.2	イーサネットクライアント CSTAT および再生 RSTAT LD/RD	59
付録 I	短距離アプリケーションの例	61
付録 II	長距離アプリケーションの例	63
参考文献	.....	66

<参考>

1. 国際勧告等との関連

本標準は、ITU-T 勧告 G.709.1 (03/2024) に準拠したものである。

2. 上記国際勧告等に対する追加項目等

2.1 オプション選択項目

なし

2.2 ナショナルマター項目

なし

2.3 その他

なし

2.4 上記国際勧告等に対する変更事項

なし

2.5 参照した国際勧告との章立て構成の相違

なし

3. 改定の履歴

版数	発行日	改版内容
第1版	2021年11月11日	初版制定
第2版	2025年2月20日	改定 (ITU-T 勧告 G.709.1 (03/2024) に準拠)

4. 工業所有権

本標準に関わる「工業所有権等の実施許諾に係る声明書」の提出状況は、TTC ホームページにて閲覧可能である。

5. その他

(1) 参照している勧告、標準等

TTC 標準 JT-G698.2, JT-G709, JT-G872, JT-G802.3, JT-G959.1, JF-IEEE802.3

ITU-T 勧告 G.709, G.709.3, G.709.5, G.709.6, G.798, G.872, G.959.1, G.7041, G.8260, G806, G.7044, G.7712, G.Sup58, X.800

IEEE 標準 802.3-2022, 802.3df-2023, 1588-2008

(2) 上記勧告等に対する追加項目

なし

6. 標準作成部門

伝送網・電磁環境専門委員会

JT-G709.1／フレキシブルOTN共通要素

概要

TTC 標準 JT-G709.1 は、さまざまなタイプの FlexO インタフェースで使用される共通の要素と信号構造を規定している。ITU-T 勧告 G.709.1 の 3.0 版では、短距離インタフェースに関する記述が[ITU-T G.709.5]に移行されたため、この標準が改訂され、共通の FlexO 要素について記述することになった。

1. 適用範囲

TTC 標準 JT-G709.1 は、単一ベンダおよび複数ベンダ間の相互接続アプリケーションで使用される様々なタイプの FlexO インタフェースに共通する要素と信号構造を規定している。これには、FlexO フレーム、FlexO インスタンスのインターリーブ、FlexO-n(e)へのマッピング手順、および FlexO オーバーヘッドが含まれる。FlexO インタフェースは、複数のインタフェースを結合(グルーピング)することをサポートしており、その結果、一つ以上のクライアント信号(例えば、OTUCn やイーサネット)を一つ以上の光トリビュタリ信号(OTSi)を通じて転送することができる。相互接続可能な短距離および長距離インタフェースは、[ITU-T G.709.3]、[ITU-T G.709.5]、[ITU-T G.709.6]など他の勧告において定義されている。さらに、様々な短距離および長距離アプリケーションの導入に関する資料も含まれている。

2. 参考文献

以下の ITU-T 勧告およびその他の参考文献には、本文中で参照されることにより、本標準の規定を構成する条項が含まれている。本標準の出版時点で示された版は有効である。すべての勧告およびその他の参考文献は改訂の対象となるため、本標準の利用者には、以下の勧告およびその他の参考文献の最新版を確認することを奨励する。ITU-T は、現在有効な勧告のリストを定期的に公開しているので参照されたい。なお、本標準内での文書への言及は、その文書に勧告としての地位を与えるものではない。

[JT-G698.2]	TTC 標準 JT-G698.2 (第 1 版), 2020/05/21, 単一チャネル光インタフェースを有する光増幅 DWDM アプリケーション
[ITU-T G.709]	Recommendation ITU-T G.709/Y.1331 (2020), Interfaces for the optical transport network.
[ITU-T G.709.3]	Recommendation ITU-T G.709.3 (2024), Flexible OTN B100G long-reach interfaces.
[ITU-T G.709.5]	Recommendation ITU-T G.709.5 (2024), Flexible OTN short-reach interfaces.
[ITU-T G.709.6]	Recommendation ITU-T G.709.6 (2024), Flexible OTN B400G long-reach interfaces.
[ITU-T G.798]	Recommendation ITU-T G.798 (2023), Characteristics of optical transport network hierarchy equipment functional blocks.
[ITU-T G.872]	Recommendation ITU-T G.872 (2024), Architecture of the optical transport network.
[ITU-T G.959.1]	Recommendation ITU-T G.959.1 (2024), Optical transport network physical layer interfaces.
[ITU-T G.7041]	Recommendation ITU-T G.7041/Y.1303 (2016), Generic framing procedure.
[ITU-T G.8260]	Recommendation ITU-T G.8260 (2022), Definitions and terminology for synchronization in packet networks.
[IEEE 802.3]	IEEE Std. 802.3-2022, IEEE Standard for Ethernet.
[IEEE 802.3df]	IEEE Std. 802.3df-2023, IEEE Standard for Ethernet Amendment 9: Media Access Control Parameters for 800 Gb/s and Physical Layers and Management Parameters for 400 Gb/s and 800 Gb/s Operation
[NIST SP 800-38D]	National Institute of Standards and Technology (2007), Recommendation for Block Cipher Modes of Operation: Galois/Counter Mode (GCM) and GMAC.
[OIF FlexE]	Optical Interworking Forum, OIF (2021), FlexEthernet Implementation Agreement 2.2.

3. 定義

3.1 他の文書で定義されている用語

本標準では、他の文書で定義されている以下の用語を使用する。

3.1.1 [ITU-T G.709]で定義されている用語

- 完全標準化 OTUCn (OTUCn)
- 光トランスポートネットワーク (OTN)

3.1.2 暗号文(cipher text) [b-ITU-T X.800] : 暗号化を用いて生成されたデータ。結果として得られるデータの意味内容は解読できない。

3.1.3 機密性(confidentiality) [b-ITU-T X.800] : 権限のない個人、団体、またはプロセスに対して情報が利用可能にされたり、開示されたりしないという特性。

3.1.4 暗号化(encryption) [b ITU-T X.800] : データを暗号文に変換するための暗号技術の変換処理。

3.1.5 完全性(integrity) [b-ITU-T X.800] : データが不正な方法で変更または破壊されていないという特性。

3.1.6 鍵(key) [b-ITU-T X.800] : 暗号化および復号化の操作を制御する一連の記号。

3.1.7 平文(plaintext) [b-ISO/IEC 18033-3] : 暗号化されていない情報。

3.2 本標準で定義される用語

本標準では、以下の用語を定義している：

3.2.1 FlexO : 特定のビットレートとフレームフォーマットを持つ情報構造で、オーバーヘッドとペイロードから構成され、グループで使用される。

3.2.2 FlexO-n : OTUCn およびイーサネットクライアントの転送のために、n 個($n \geq 1$)の FlexO インスタンスのグループから構成される情報構造。

3.2.3 FlexO-x : x 個($x \geq 1$)のインターリーブされた FlexO インスタンスから構成される情報構造で、OTUCn やイーサネットなどのクライアント信号の転送のために、m 個($m = \lceil n/x \rceil$)のインスタンスと共にグループで使用される。x の値は、FlexO-x インタフェースのレートを 100G 単位で示す。

3.2.4 FlexO-x-<int> : FlexO-x に FEC パリティと、場合によっては DSP フレーミングも含む情報構造。一部の場合、<int>は変調方式を指すことがある。

3.2.5 FlexO-x-<int> インタフェース : FlexO x <int>-m インタフェースグループの一部である個々のメンバインタフェースを示す。

注：「メンバ」と「PHY」の用語は、FlexO-x-<int>インタフェースを指す際によく使われる用語である。

3.2.6 FlexO-x-<int>-m インタフェースグループ : $m \times$ FlexO-x-<int>インタフェースのグループを示す。

注：この標準では、FlexO-x-<int>-m インタフェースグループの短縮形として「FlexO グループ」という表現が使用されることがある。

3.2.7 FOICx.k-<int> : k 本の並列レーンを使用する FlexO-x-<int>インタフェースを示す。

注：「FOICx.k」は、[ITU-T G.709]で定義されている OTUk の「OTLk.m」に相当する FlexO の用語である。

4. 略語及び頭字語

本標準では、以下の略語と頭字語を使用する。

AAD	Additional Authenticated Data	追加認証データ
AIS	Alarm Indication Signal	アラーム表示信号
AMi	Alignment Marker of index i	インデックス i のアライメントマーカー
AM	Alignment Mechanism	アライメントメカニズム

AT	Authentication Tag 認証タグ
B100G	Beyond 100G 100G 超
B400G	Beyond 400G 400G 超
BIP	Bit Interleaved Parity ビットインターリーブパリティ
BMP	Bit-synchronous Mapping Procedure ビット同期マッピング手順
BOH	Basic Overhead Field 基本オーバーヘッドフィールド
CFP2	C (100G) Form-factor Pluggable Optical Module, form factor type 2 C (100G)フォームファクタ・ブラガブル光モジュール、フォームファクタタイプ2
CRC	Cyclic Redundancy Check 巡回冗長検査
CSF	Client Signal Fail クライアント信号障害
CST	Cipher Suite Type 暗号スイートタイプ
CSTAT	Client status クライアント状態
EOH	Extended Overhead Field 拡張オーバーヘッドフィールド
FA	Frame Alignment フレームアライメント
FAS	Frame Alignment Signal フレームアライメント信号
FBA	FEC Block Alignment FEC ブロックアライメント
FCC0/1	FlexO Communications Channel 0 or 1 FlexO 通信チャンネル0または1
FEC	Forward Error Correction 前方誤り訂正
FlexE	Flexible Ethernet フレキシブルイーサネット
FlexO	Flexible Optical Transport Network フレキシブル光トランスポートネットワーク
FN	Frame Number フレーム番号
FS	Fixed Stuff 固定スタッフ
GFP	Generic Framing Procedure 汎用フレーミング手順
GID	Group Identification グループ識別子
GMP	Generic Mapping Procedure 汎用マッピング手順
IA	Implementation Agreement インプリメンテーションアグリーメント
IID	FlexO Instance Identification FlexO インスタンス識別子
IV	Initialization Vector 初期化ベクトル
KCC	Key exchange Communication Channel キー交換通信チャンネル
KI	Key Index キーインデックス
LCK	Locked ロック済み
LD	Local Degrade ローカル劣化
LF	Local Fault ローカルフォルト
LSB	Least Significant Bit 最下位ビット
MAP	FlexO Map field FlexO マップフィールド
MDI	Media Dependent Interface メディア依存インタフェース
MFAS	Multi-Frame Alignment Signal マルチフレームアライメント信号
MNT	Maintenance メンテナンス
MS	Multiplexed Section 多重化セクション
MSB	Most Significant Bit 最上位ビット
ODU	Optical Data Unit 光データユニット
OFEC	Open FEC オープン FEC
OH	Overhead オーバーヘッド

OPU	Optical Payload Unit	光ペイロードユニット
OSMC	OTN Synchronization Messaging Channel	OTN 同期メッセージングチャンネル
OTL	Optical Transport Lane	光トランスポートレーン
OTN	Optical Transport Network	光トランスポートネットワーク
OTSi	Optical Tributary Signal	光トリビュタリ信号
OTU	Optical Transport Unit	光トランスポートユニット
OTUCn	OTU order Cn	OTU オーダーCn
PCS	Physical Coding Sublayer	物理コーディングサブレイヤー
PHY	Physical Layer	物理層
PRBS	Pseudo Random Binary Sequence	擬似ランダムバイナリシーケンス
PT	Payload type	ペイロードタイプ
PTP	Precision Time Protocol	プレジジョンタイムプロトコル
QSFP28	Quad (100G) Small Form-factor Pluggable	クアッド(100G)スモールフォームファクタプラグラブル
RD	Remote degrade	リモート劣化
RES	Reserved for Future International Standardization	将来の国際標準用に予約された領域
RPF	Remote Physical Layer Fault	遠隔物理層障害
RS	Reed-Solomon	リード・ソロモン
RSTAT	Regen Status	再生ステータス
SSM	Synchronization Status Message	同期ステータスメッセージ
STAT	FlexO Status	FlexO ステータス
RTTI	Regen Trail Trace Identifier	再生トレイルトレース識別子
WDM	Wavelength Division Multiplexing	波長分割多重

5. 慣例

本標準では、以下の表記規則を使用する。

情報構造およびインタフェースの名称

FlexO-n、FlexO-x、FlexO-x-<int>、FlexO-x-<int>-m、FOICx.k-<int>という用語は、OTN ビットレートに最適化された FlexO 情報構造およびインタフェースを指すために使用される。

- n:** インデックス「n」は、FlexO グループ内にある FlexO インスタンスの数を表すために使用される。
- x:** インデックス「x」は、FlexO インタフェースのビットレートを 100G 単位で表すために使用される。例えば、100G の場合は x=1、200G の場合は x=2、400G の場合は x=4...となる。
- (e):** FlexO-x(e)として使用される場合、これは「または」を意味する略称であり(例えば FlexO-x または FlexO-xe)、「e」はイーサネットペイロード向けに最適化されていることを意味する。同じ略称の概念が FlexO-n(e)にも使用される。
- m:** インデックス「m」は、FlexO グループ内のインタフェースの数を表すために使用される。また、「m」はクライアントマッピングにおけるデータブロックやスタッフイングビットにおけるビット数を表すためにも使用される。
- k:** インデックス「k」は、FOICx.k-<int>インタフェース上のレーン数を表すために使用される。
- <int>:** <int>プレースホルダーは、特定の短距離および長距離インタフェースの勧告で使用され、インタフェースに固有の名前を提供するために用いられる。インタフェースは、FEC タイプまたは FEC タ

イプと変調タイプの組み合わせによって識別される。

送信順序: 本標準のすべての図における情報の伝送順序は、まず左から右へ、次に上から下へとなる。各バイト内では、最上位ビットが最初に伝送される。最上位ビット(ビット 1)は、すべての図の左側に示される。

予約ビットの値: 将来の国際標準化のために予約されたオーバーヘッドビットの値は「0」に設定される。

非ソースビットの値: 特に指定がない限り、非ソースビットはすべて「0」に設定される。

6. イントロダクションおよびアプリケーション

フレキシブル OTN インタフェースグループ(FlexO-x(e)-<int>-m)は、様々なアプリケーション向けに定義されている。フレキシブル OTN インタフェースグループは、[ITU-T G.709]を補完し、OTUCn トランスポート用のインタフェースと、イーサネットに最適化されたトランスポート用のインタフェースを提供する。FlexO-x-<int>-m インタフェースグループは、標準レート of the インタフェース(例えば 100G や 400G)を結合することでモジュラリティを実現し、OTUCn クライアントを適応させて多重化する。FlexO-xe-<int>-m インタフェースグループは、イーサネットクライアントを適応させて多重化することに最適化されている。

FlexO-x(e)-<int>-m インタフェースは、FEC、スクランプリング、ビットアライメント、さらに運用、管理、保守のためのオーバーヘッドを提供する。情報構造の共通要素(例えば FlexO-x)は、機能的に標準化された単一ベンダインタフェースに活用できる。また、完全に標準化されたマルチベンダ間の相互接続インタフェースは、短距離および長距離アプリケーションの両方に適用されるための FlexO 関連勧告においても定義されている。

FlexO インスタンスレートは、[ITU-T G.709]で指定されている OTU4 にも対応する 100G プラッグgable モジュールの再利用をサポートするように設計されている。

FlexO-x(e)-<int>-m インタフェースグループは以下を提供する。

- 相互接続可能なシステム OTN インタフェースを提供
- グループ内の m インタフェースを束ねることにより、より高い容量のクライアント(例えば ODUflex や OTUCn)を実現
- アプリケーションに適した FEC を提供
- FlexO レイヤーでのオプションの暗号化を提供
- インタフェースレートのモジュラリティと柔軟性を提供
- クライアント信号とは関連しないフレーム、アライメント、デスクュー、グループ管理、管理通信チャネルなどの機能を提供
- 再生アプリケーション

6.1 短距離 FlexO インタフェース

短距離インタフェースは、[ITU-T G.709.5]で規定されており、RS FEC を使用し、複数のベンダ間で相互接続可能な接続をサポートすることを目的としている。短距離インタフェースは、QSFP28、QSFPDD、OSFP、CFP2 などの直接検出型マルチレーンモジュールでしばしばサポートされている。短距離インタフェースは OTUCn クライアントのみをサポートし、イーサネットに最適化された収容方式は含まれていない。

注：FlexO 短距離インタフェース(FOICx.k-RS)の論理信号フォーマットは、[b-ITU-T G-Sup.58]で規定されているシステム内部インタフェース(相互接続可能なコンポーネント間インタフェース)で再利用することができる。

具体的な応用例は付録 I に記載されている。

6.2 長距離 FlexO インタフェース

長距離アプリケーションは、単一ベンダのものもあれば、複数ベンダ間で相互接続可能なものもある。複数ベンダによる長距離 FlexO インタフェースは、100G-400G の B100G レートについては[ITU-T G.709.3] (FlexO-x, x=1, 2, 4)で、400G-800G の B400G レートについては[ITU-T G.709.6] (FlexO-x, x=4, 8)で完全に規定されている。信号伝送の過程で蓄積されたノイズの影響を軽減するため、これらのインタフェースでは、短距離 FlexO インタフェースで使用される FEC タイプよりも高い符号化利得を持つ FEC を使用する。長距離 FlexO インタフェースは通常、WDM と共に使用され、コヒーレント検出に基づいている。

具体的な応用例については付録 II に示す。

7. 構造とプロセス

この章では、FlexO-x(e)-<int>-m インタフェースグループに関連する機能と、異なるタイプのインタフェースに共通する FlexO 要素に関連する基本的な信号構造、プロセス、およびアトミックファンクションを紹介する。

7.1 基本信号構造

FlexO-x(e)-<int>-m インタフェースグループのアーキテクチャは[ITU-T G.872]で規定されている。FlexO-x(e)-<int>-m インタフェースグループの情報構造は、情報の包含関係とフローによって表される。

FlexO-x(e)-<int>-m グループインタフェースの主要な情報包含関係は図 7-1 に記述されている。1 つまたは複数のクライアント信号(OTUCn またはイーサネット)が FlexO-n(e)信号にマッピングされる。FlexO-n(e)信号の n 個の FlexO インスタンスが m(m≤n)個の FlexO-x-<int>インタフェースにマッピングされる。各 FlexO-x-<int>インタフェースは、FlexO-n(e)信号からの 1 つ以上の FlexO インスタンスを含んでいる。最終的に、FEC のデータへの適用は、FEC パリティビットの追加と適切なパディングから構成される。この FEC のデータへの適用に関する詳細は、本標準の範囲外である。

FlexO-n(e)を FlexO-x(e)-<int>-m グループインタフェースにマッピングするシナリオで、 $n < (m \times x)$ の場合、いくつかのインスタンスは 10 章で説明されているように未装備としてマークされる。

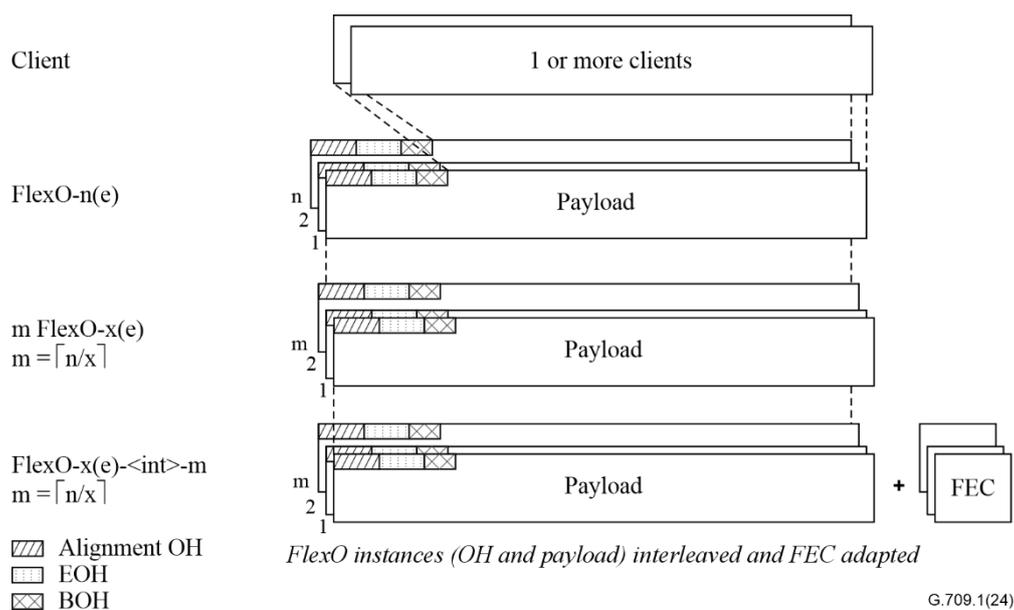


図 7-1/JT-G709.1 FlexO-x(e)に関する主要な情報の包含関係 (ITU-T G.709.1)

7.2 処理と情報フロー

機能、プロセス、および情報フローは、[ITU-T G.798]において正式に規定されている。

8. FlexO フレームとメンテナンス

FlexO フレームは FlexO-x(e)-<int> インタフェースに関連付けられており、FlexO ペイロード内で運ばれるクライアント構造から独立している。FlexO フレーム構造は、FlexO-x またはイーサネットに最適化された FlexO-xe インタフェースに使用することができる。

FlexO フレームは、フレームアライメントメカニズムフィールド(AM)、拡張オーバーヘッドフィールド(EOH)、基本オーバーヘッドフィールド(BOH)、およびペイロードエリアから構成される。

FlexO-x(e)-<int>-m インタフェースグループの m インタフェース上で運ばれる FlexO フレームは、送信元でフレーム/マルチフレームにアライメントされる。

8.1 フレーム構造

FlexO フレーム構造は図 8-1 に示されており、128 行×5,140 の 1 ビット列で構成されている。これには、第 1 行の第 1 列から第 480 列にフレームアライメントメカニズムフィールド(AM)、第 1 行の第 481 列から第 960 列に拡張オーバーヘッドフィールド(EOH)、第 1 行の第 961 列から第 1280 列に基本オーバーヘッドフィールド(BOH)が含まれ、残りのフレーム部分には(128×5140 - 1280 = 656640 ビット)のペイロードエリアがある。

注：FlexO フレーム構造は、100G ビット/秒イーサネットの条項 91 [IEEE 802.3]の FEC アライメントおよびレーンアーキテクチャから派生しており、66b アライメントや 256b/257b トランスコーディング機能は含まれていない。

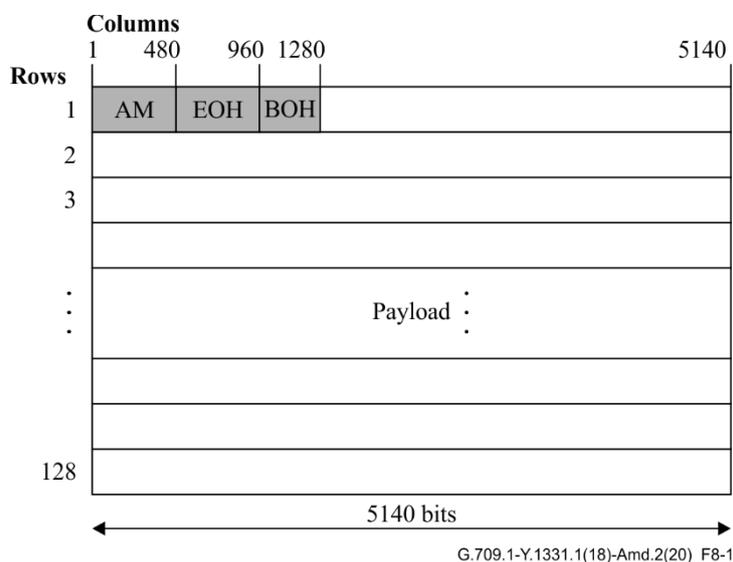


図 8-1/JT-G709.1 FlexO フレーム構造
(ITU-T G709.1)

8.2 マルチフレーム構造

追加の OH フィールドのためのスペースを提供するために、8 フレームの FlexO マルチフレーム構造が定義されている。これは、マルチフレームアライメント信号(MFAS)オーバーヘッドの最下位 3 ビットを使用して、マルチフレーム内の 8 フレームを識別する。

マルチフレームペイロード構造の詳細は、10 章で定義されている。

8.3 ビットレートとフレーム周期

FlexO 信号インタフェースのビットレートと許容誤差は、表 8-1 で定義されている。

表 8-1/JT-G709.1 FlexO-n(e)のビットレート
(ITU-T G.709.1)

インタフェース	FlexO-n(e) 公称ビットレート	FlexO-n(e) ビットレート許容誤差
FlexO-n	$n \times 491384/462961 \times 99\,532\,800$ kbit/s	± 20 ppm
FlexO-ne	$n \times 21845/25984 \times 766 \times 156\,250$ kbit/s	± 20 ppm
注 1：公称の FlexO-n ビットレートは、おおよそ $n \times 105\,643\,510.782$ kbit/s である。FlexO-n ビットレートは、OTUC ビットレートから次のように導出できる： $4112/4097 \times n \times \text{OTUC ビットレート} = 4112/4097 \times 239/226 \times n \times 99\,532\,800$ kbit/s 注 2：公称の FlexO-ne ビットレートは、おおよそ $n \times 100\,622\,438.327$ kbit/s である。FlexO-ne ビットレートは、156M イーサネットクロックの倍数から次のように導出できる： $n \times 514/544 \times 1445/1624 \times 766 \times 156\,250$ kbit/s		

FlexO 信号インタフェースのフレーム周期とマルチフレーム周期は、表 8-2 で定義されている。

表 8-2/JT-G709.1 FlexO-n(e)のフレーム周期とマルチフレーム周期
(ITU-T G.709.1)

インタフェース	フレーム周期 (注)	8フレームマルチフレーム周期 (注)	4フレームマルチフレーム周期 (注)
FlexO-n	~ 6.228 μs	49.822 μs	24.911 μs
FlexO-ne	~ 6.539 μs	52.310 μs	26.155 μs
注：周期は概算値であり、小数点以下 3 桁に丸められている。			

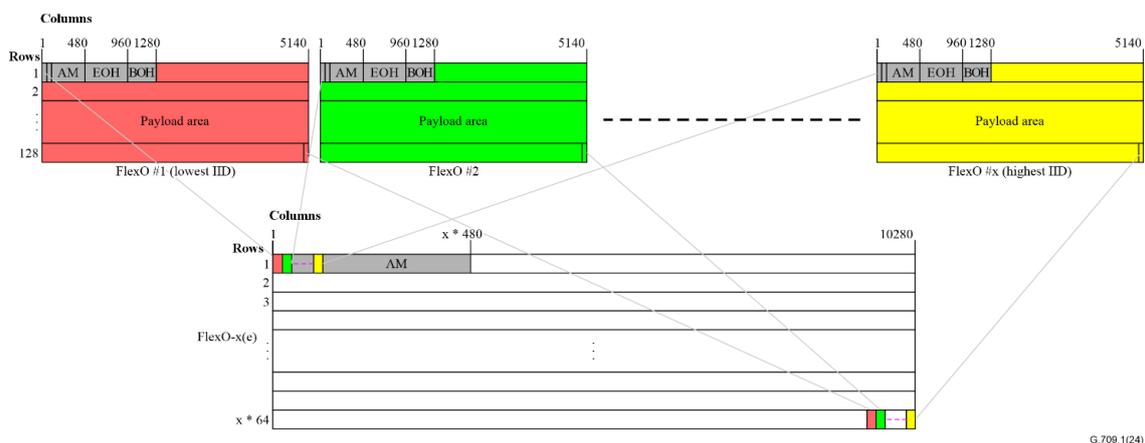
FlexO メンテナンス信号(AIS、LCK)は、ローカルクロックを使用して生成される。

8.4 FlexO-x(e)フレーム構造

このセクションでは、 $x > 1$ の FlexO-x(e)-<int>インタフェースに対する汎用的な z ビットインターリーブを定義している。 z の値はインタフェース固有のものであり、[ITU-T G.709.3]、[ITU-T G.709.5]、および[ITU-T G.709.6]によって定義されている。

FlexO-1(e)フレーム構造は、図 8-1 に示されている FlexO インスタンスフレーム構造と同一である。

FlexO-x(e)フレーム構造は図 8-2 に示されており、 $x \times 64$ 行 $\times 10280$ の 1 ビット列で構成されている。 x 個の FlexO インスタンスは、最も低い Identification (IID)から最も高い IID への順序で FlexO-x(e)フレームに z ビットインターリーブされる。



G.709.1(24)

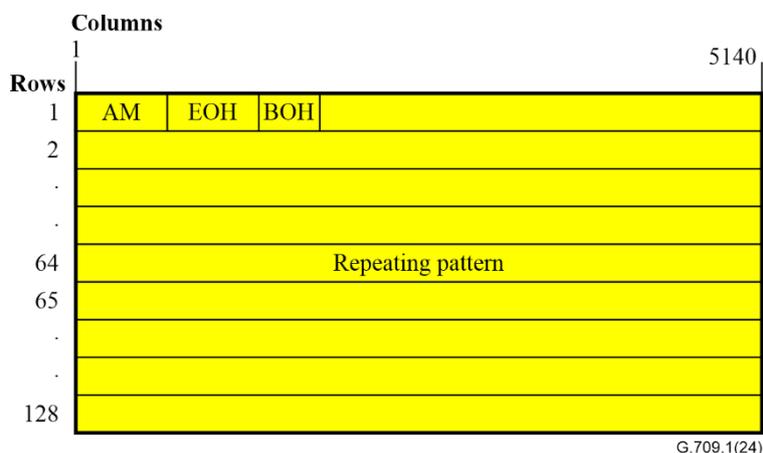
図 8-2/JT-G709.1 FlexO-x(e)フレーム構造 (ITU-T G.709.1)

8.5 FlexO メンテナンス

FlexO のメンテナンス状態は、9.2.3.3 項で説明されている STAT オーバーヘッドの MTN フィールドによって示される。

LCK および AIS の定義と動作は[ITU-T G.709]と同じである。アラーム表示信号(AIS)は、上流で検出された欠陥を示すために下流に送信される信号である。AIS 信号はアダプテーションシンク機能で生成される。AIS 信号はトレイル終端シンク機能で検出され、上流地点で元の信号のトランスポートが中断された結果として検出されるであろう欠陥や故障を抑制する。ロックされた(LCK)信号は、上流の接続が「ロック」されており、信号が通過していないことを示すために下流に送信される信号である。適応源または適応シンク機能で LCK 信号が生成される。LCK 信号は、トレイル終端シンク機能で検出される。

LCK は繰り返しの「0101 0101」パターンとして、AIS は図 8-3 に示されるように、FlexO ペイロード全体、BOH、EOH、および AM で繰り返しの「1111 1111」として規定されている。



G.709.1(24)

図 8-3/JT-G709.1 FlexO AIS/LCK スケルチ (ITU-T G.709.1)

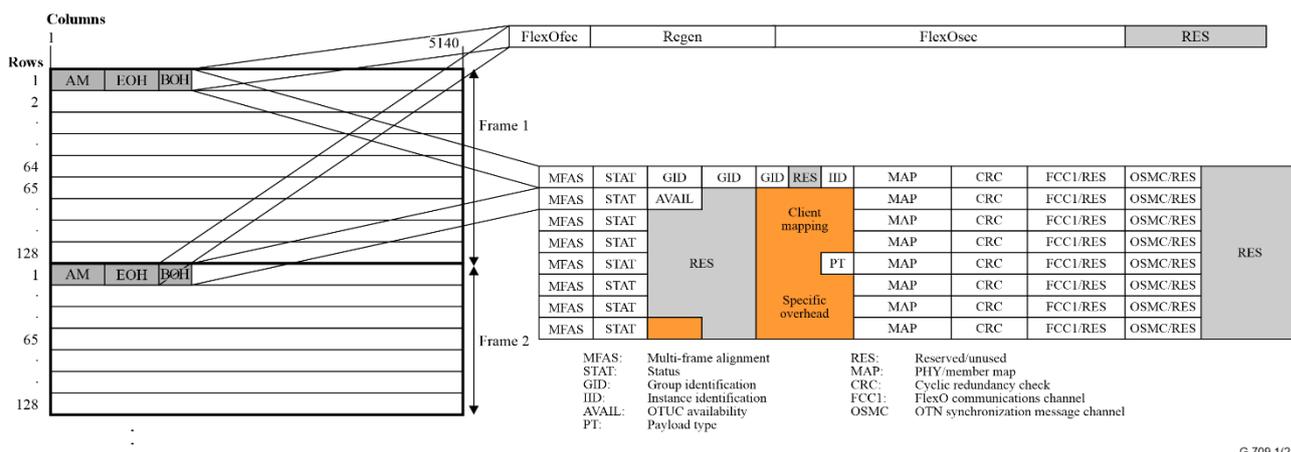
OTN インタフェースに提示される前に、LCK および AIS の FlexO 信号は、BOH の AM、MFAS、CRC フィールドで拡張され、EOH のリジェネレータフィールドや BOH の FCC1 フィールドによってさらに拡張される。これは、LCK および AIS の挿入ポイントと OTN インタフェースの間の機能に依存する。LCK および AIS の存在は、STAT オーバーヘッドフィールドの MNT ビットを監視することによって検出される。

9. オーバーヘッド

FlexO フレームのオーバーヘッドは、アライメントメカニズムフィールド(AM)、基本オーバーヘッド(BOH)、拡張オーバーヘッド(EOH)から構成される。基本的な FlexO フレームにおける FlexO の総オーバーヘッドフィールドは、FlexO インスタンスあたり 1280 ビットで、AM が 480 ビット、EOH が 480 ビット、BOH が 320 ビットである。

より高いレートの FlexO-x(e)-<int>インタフェースの集約フレームは、複数の FlexO フレームインスタンスをインターリーブすることによって構築される。

FlexO フレームのオーバーヘッド領域の概要を図 9-1 に示す。



G.709.1(24)

図 9-1/JT-G709.1 オーバーヘッドの概要 (ITU-T G.709.1)

9.1 アライメントメカニズム

アライメントメカニズムの詳細はインタフェース固有のものであり、本標準の範囲外である。

9.2 基本オーバーヘッド(BOH)の説明

FlexO の BOH フィールドは、FlexO フレームの EOH フィールドに続く 320 ビットに含まれている。BOH 構造は 2560 ビット(320 バイト)であり、図 9-2 に示されるように 8 フレームのマルチフレームにわたって分散されている。各フレームには 40 バイトの BOH が含まれている。

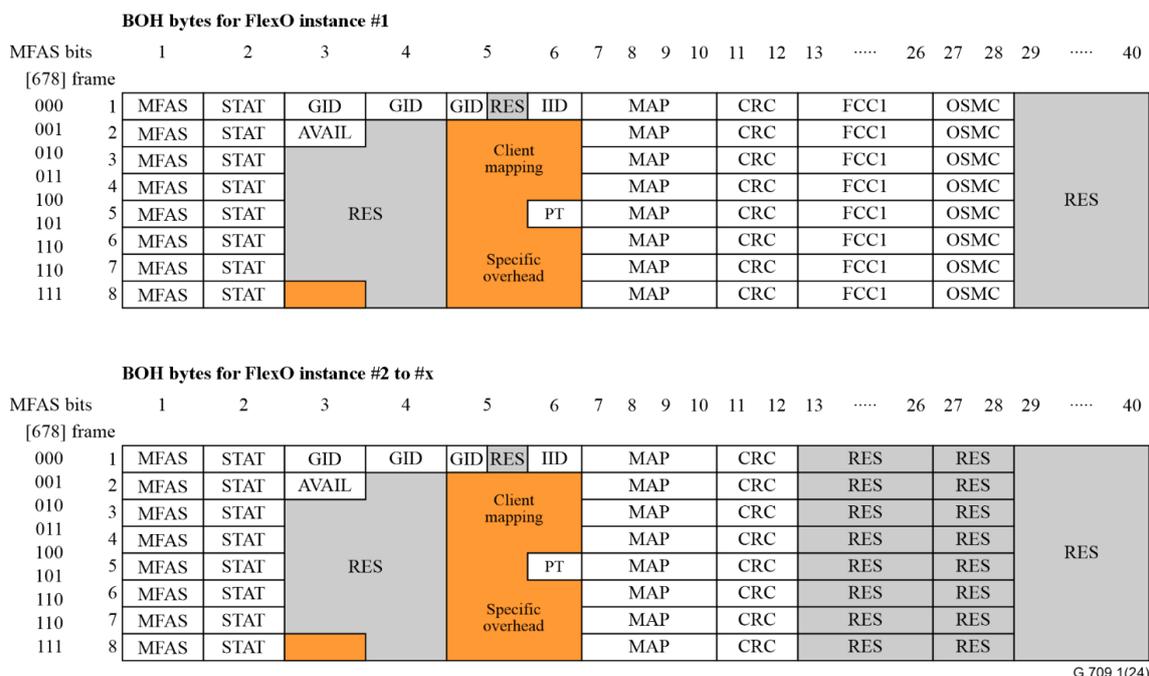


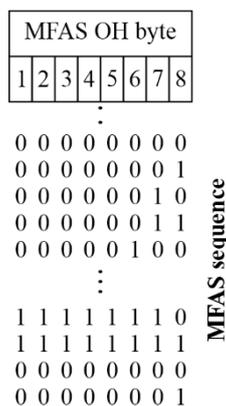
図 9-2/JT-G709.1 FlexO BOH の構造 (ITU-T G.709.1)

FlexO の BOH フィールドには、以下のサブフィールドが含まれる(図 9-2 参照)。

- マルチフレームアライメント信号(MFAS)
- 状態(STAT)
- グループ管理オーバーヘッドには以下が含まれる。
 - グループ識別(GID)
 - FlexO インスタンス識別(IID)
 - FlexO マップ(MAP)
- ペイロードオーバーヘッドには以下が含まれる。
 - ペイロードタイプ(PT)
 - クライアントマッピング固有
 - OTUC 利用可能性(AVAIL) – 9.2.6.1 項で定義
- 巡回冗長検査(CRC)
- FlexO 管理通信チャンネル(FCC1)
- OTN 同期メッセージチャンネル(OSMC)
- 将来の国際標準化のために予約されたビット(RES)

9.2.1 マルチフレームアライメント信号(MFAS)

8 ビット(1 バイト)のマルチフレームアライメント信号フィールドが提供され、すべての FlexO フレームでインクリメントされる。この MFAS フィールドは 0x00 から 0xFF までカウントし、256 フレームの FlexO マルチフレームを提供する。この中心的なマルチフレームは、オーバーヘッドとペイロード構造の 2 フレーム、4 フレーム、8 フレーム、16 フレーム、32 フレームなどのマルチフレーム構造を主フレームにロックするために使用される。MFAS シーケンスを図 9-3 に示す。



G.709.1(24)

図 9-3/JT-G709.1 マルチフレームアライメント信号のオーバーヘッド (ITU-T G.709.1)

MFAS フィールドは、すべての FlexO フレームにおいて、AM に直接続くオーバーヘッドバイト 1 に位置している。

9.2.2 グループ管理オーバーヘッド

9.2.2.1 グループ識別(GID)

20 ビット(2.5 バイト)の FlexO グループ識別(GID)フィールドが提供され、FlexO-x(e)-<int>インタフェースが属するインタフェースグループインスタンスを示す。GID により、受信側でインタフェースが意図した FlexO グループに属しているかを確認することができる。

GID フィールドは、フレーム 1、オーバーヘッドバイト 3、4、および 5 に位置している。

伝送の両方向で同じ FlexO グループ識別値が使用される。

GID の非ゼロ値は有効であり、このフィールドに対して「0」の値は予約されている。

FlexO インスタンスは、任意の FlexO-n グループに属しておらず、そのペイロードでクライアント信号を運んでいない場合、FlexO GID 値がデフォルトで「0」に設定され、「未実装」とマークされる。どのグループにも属していない FlexO-x(e)-<int>インタフェースは、未実装 FlexO インスタンスを運ぶ。

9.2.2.2 FlexO インスタンス識別(IID)

FlexO-x(e)-<int>-m インタフェースグループは、m 個の FlexO-x(e)-<int>インタフェースで構成されており、これらはメンバとも呼ばれる。8 ビット(1 バイト)の IID フィールドが提供され、グループ内の各 FlexO インスタンスと、グループ内の各インスタンスおよびメンバの順序を一意に識別するために使用される。この情報は、再順序付けプロセスに必要である。

FlexO グループ内のインタフェースの IID 値は必ずしも連続して配置されるわけではない。IID 値は、FlexO グループ内のインタフェースの順序を低いものから高いものへと示す。グループ内の最初の FlexO-x(e)-<int>インタフェースは、最も低い IID 値を持つものである。

グループ内のある FlexO-x(e)-<int>インタフェースにおける FlexO インスタンスの識別値(IID)は、グループ内の前の FlexO-x(e)-<int>インタフェースの IID 値よりも大きくなければならず、次の FlexO-x(e)-<int>インタフェースの IID 値よりも小さくなければならない。

IID フィールドはフレーム 1 のオーバーヘッドバイト 6 に位置している。このフィールドにおいて値「0」と「255」は予約されている。

伝送の両方向で同じ FlexO インスタンス識別値が使用される。

9.2.2.3 FlexO マップ(MAP)

256 ビット(32 バイト)のフィールドが提供され、グループに属するメンバを示す。フィールド内の各ビットは「1」に設定され、インスタンスがグループの一部であることを示す。MAP のビット位置は、メンバの FlexO-x(e)-<int>インタフェースに設定された IID に対応し、最上位ビット(MSB)は最も番号の低い IID に対応する。MAP 内の使用されていない残りのフィールドは「0」に設定される。完全な MAP は、グループのすべてのメンバで送受信される。

MAP フィールドは、グループ内のすべての FlexO インスタンスのすべてのフレームにおいて、オーバーヘッドバイト 7、8、9、および 10 に位置している。図 9-4 に示されるように、フレーム 1 のオーバーヘッドバイト 7 のビット 2 は IID#1 に関連付けられ、フレーム 8 のオーバーヘッドバイト 10 のビット 7 は IID#254 に関連付けられている。さらに、フレーム 1 のオーバーヘッドバイト 7 のビット 1 と、フレーム 8 のオーバーヘッドバイト 10 のビット 8 は予約されている。

MAP bytes		7							8							9							10											
Frame		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
1	RES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
2	32	33	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
6	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
8	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	RES

G.709.1(24)

図 9-4 /JT-G709.1 FlexO MAP フィールド (ITU-T G.709.1)

9.2.3 ステータス(STAT)

図 9-5 に示されるように、FlexO インスタンスの一般的なステータス表示用に 8 ビット(1 バイト)のフィールドが提供されている。

- リモートフォルト(RF)
- メンテナンス(MNT)
- 予約(RES)



G.709.1(24)

図 9-5/JT-G709.1 FlexO BOH STAT フィールド (ITU-T G.709.1)

STAT フィールドは、図 9-2 に示されるように、すべてのフレームのオーバーヘッドバイト 2 に位置している。

注：ITU-T 勧告 G.709.1 の 2.5 版以前に開発された実装では、MNT フィールドはサポートされておらず、それらのビットは予約されている。以前の版では、最初のインスタンスにのみ RPF フィールドがあり、2.5 版ではすべてのインスタンスで RF フィールドに再利用されている。

9.2.3.1 リモートフォルト(RF)

セクション監視のために、単一ビットのリモートフォルト(RF)指標は、上流方向のリモート FlexO シンク

機能で検出された信号障害状態を伝達する。

RF はリモートフォルト/欠陥指標を示すために「1」に設定され、それ以外の場合は「0」に設定される。

注：ITU-T 勧告 G.709.1 の 2.5 版以前では、このフィールドは RPF として言及されていた。

9.2.3.2 予約(RES)

STAT バイトの 4 ビットは、図 9-5 に示されるように、将来の国際標準化のために予約されている。これらのビットは「0」に設定される。

9.2.3.3 メンテナンス(MNT)

STAT バイトの 3 ビットは、メンテナンス状態を示すために使用される。

- 000 – 通常運用
- 111 – AIS
- 101 – LCK

注：100 の値は、FlexOsec スケルチパターンのために予約されている。

9.2.4 ペイロードオーバーヘッド

FlexO のペイロードオーバーヘッドは、OTUC の利用可能性(AVAIL)、ペイロードタイプ(PT)、および図 9-2 に示されるクライアントマッピング固有のオーバーヘッドから構成されている。

9.2.4.1 OTUC の利用可能性(AVAIL)

AVAIL フィールドは使用されておらず、FlexO-1-RS 100G インタフェースの場合は 1 の値に設定されるべきである。その他の場合では予約されている。

AVAIL フィールドはフレーム 2 のオーバーヘッドバイト 3 に位置している。

9.2.4.2 ペイロードタイプ(PT)

FlexO ペイロード信号の構成を示すために、1 バイトの FlexO ペイロードタイプ信号が定義されている。PT フィールドは、すべての n 個の FlexO インスタンスのフレーム 5 の基本オーバーヘッドのバイト 6 に位置している。コードポイントは表 9-1 で定義されている。

表 9-1/JT-G709.1 FlexO ペイロードタイプのコードポイント
(ITU-T G.709.1)

MSB 1 2 3 4	LSB 5 6 7 8	Hex code (注1)	Interpretation
0 0 0 0	0 0 0 0	00	BMPを使用してOTUCnをFlexO-nにマッピングする。
0 0 0 0	0 0 0 1	01	実験的にマッピングする。(注2)
0 0 0 0	0 0 1 0	02	GMPを使用してOTUCnをFlexO-nにマッピングする。
0 0 0 0	0 1 0 0	04	FlexOsecのスケルチテキスト値用に予約されている。
0 0 0 0	0 1 0 1	05	GMPを使用してイーサネットをFlexO-nelにマッピングする。
0 1 0 0	0 0 0 0	40	OIF 800ZRのイーサネットクライアントのマッピングと多重化用に予約されている。
0 1 0 0	0 0 0 1	41	OIF 800ZR PRBSテストパターン用に予約されている。
1 0 0 0	x x x x	80-8F	独自使用のための予約コードである。(注3)
0 1 0 1	0 1 0 1	55	FlexO LCKメンテナンス信号用に予約されている。詳細は8.5節を参照。
1 1 1 1	1 1 1 0	FE	PRBSテストパターン。詳細は10.5節を参照。
1 1 1 1	1 1 1 1	FF	FlexO AISメンテナンス信号用に予約されている。詳細は8.5節を参照。

注 1：将来の国際標準化のために 230 のスペアコードが残されている。新しいペイロードタイプ用にこれらのコードの 1 つを割り当てる手順については、[b-ITU-T G.806]の Annex A を参照されたい。

注 2：値「01」は、この表でマッピングコードが定義されていない場合の実験活動にのみ使用される。このコードの使用に関する詳細は、[b-ITU-T G.806]の Annex A を参照されたい。

注 3：これら 16 個のコード値は、今後の標準化の対象とはならない。これらのコードの使用に関する詳細は、[b-ITU-T G.806]の Annex A を参照されたい。

9.2.4.3 クライアント固有のオーバーヘッド割り当て

FlexO の基本オーバーヘッドには、クライアントマッピング固有のオーバーヘッド用に 14 バイトが予約されている。これらのバイトは、2 行から 8 行の基本オーバーヘッドバイト 5、2 行から 4 行および 6 行から 8 行の基本オーバーヘッドバイト 6、および 8 行目の基本オーバーヘッドバイト 3 に位置している。

これらのバイトの使用は、特定のクライアント信号マッピングに依存し、PT 設定ごとにアクティブ化される。

9.2.5 巡回冗長検査(CRC)

CRC-16(2 バイト)は、各 FlexO フレームのオーバーヘッドバイト 11 と 12 に位置している。CRC は、バイト 2 から 10 の OH フィールドの完全性を保護し、MFAS、OSMC、FCC1 フィールドは除外される。CRC-16 は生成多項式 $G(x) = x^{16} + x^6 + x^5 + x^3 + 1$ を使用し、以下のように計算される。

- 1) OH フレームのオーバーヘッドバイト 2 から 10 をネットワークバイトオーダーで、最上位ビットから取り、71 次の多項式 $M(x)$ の係数を表す 72 ビットパターンを形成する。
- 2) $M(x)$ に x^{16} を乗じ、 $G(x)$ で割り (modulo 2)、15 次以下の余り $R(x)$ を生成する。
- 3) $R(x)$ の係数は 16 ビットのシーケンスとみなされ、 x^{15} が最上位ビットである。
- 4) この 16 ビットのシーケンスが CRC-16 であり、送信される CRC-16 の最初のビットは x^{15} の係数であり、最後に送信されるビットは x^0 の係数である。

デマッパー処理は、マッパー処理と同様にステップ 1 から 3 を実行するが、ここではステップ 1 の $M(x)$ 多項式には受信した順序での CRC-16 ビットが含まれ、87 次の多項式になる。ビットエラーがない場合、剰余が 0 になる。

9.2.6 FlexO 管理通信チャンネル(FCC1)

FlexO-x(e)-<int>インタフェースの一般的な管理通信チャンネル用に、マルチフレームごとに 896 ビット(112 バイト)のフィールドが提供される。図 9-6 に示されるように、これらのフィールドは最初の FlexO インスタンスのマルチフレームの全 8 フレームにわたって割り当てられている。これにより、クリアチャンネルが提供される。なお、管理チャンネルの形式と内容は、本標準の範囲外である。

FCC1 フィールドは、全フレームのオーバーヘッドバイト 13 から 26 に位置している。使用されていない場合、管理チャンネルはスクランブル前に全て 0 で埋められるべきである。FCC1 バイトは、FlexO-x(e)-<int>インタフェースごとに通信チャンネルを提供し、およそ 18Mbit/s の帯域幅を有する。

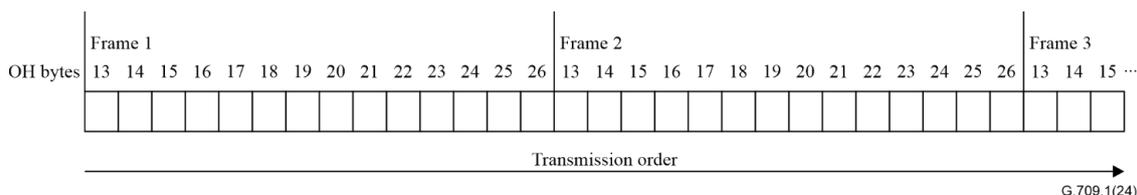


図 9-6/JT-G709.1 FCC1 の伝送順序 (ITU-T G.709.1)

注：ITU-T 勧告 G.709.1 の 2.5 版以前では、このフィールドは FCC として言及されていた。

9.2.7 FlexO 予約オーバーヘッド(RES)

FlexO マルチフレーム構造の FlexO 基本オーバーヘッドフィールドの 112.5 バイトが、将来の国際標準化のために予約されている。これらのバイト/ビットは、フレーム 1/バイト 5、フレーム 2/バイト 4、フレーム 3 から 7/バイト 3 から 4、フレーム 8 バイト 4、およびフレーム 1 から 8/バイト 29 から 40 に位置している。これらのバイト/ビットはスクランブル前に全て 0 に設定される。

9.2.8 OTN 同期メッセージチャンネル(OSMC)

OTN 同期メッセージチャンネル(OSMC)用に、マルチフレームごとに 128 ビット(16 バイト)のフィールドが提供される。図 9-2 に示されているように、これらはマルチフレームの全 8 フレームにわたって割り当てられている。このフィールドは、同期ステータスメッセージ(SSM)や精密時刻プロトコル(PTP)メッセージを転送するためのクリアチャンネルを提供する。

OSMC は、FlexO-x(e)-<int>-m インタフェースグループの最初の FlexO インスタンス(最小の IID 値)でのみ定義されている。

OSMC フィールドは、全フレームのオーバーヘッドバイト 27 と 28 に位置している。使用されていない場合、OTN 同期メッセージチャンネルのバイトはスクランブル前に全て 0 で埋められるべきである。OSMC バイトは、図 9-7 に示されているように、結合されてメッセージングチャンネルを形成し、100G インタフェースあたり約 2.56Mbit/s の帯域幅を有する。

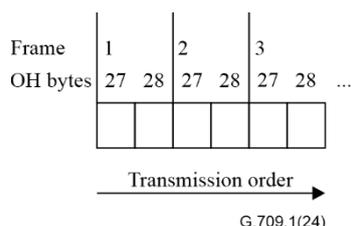


図 9-7/JT-G709.1 OSMC の伝送順序 (ITU-T G.709.1)

FlexO インスタンス内の SSM および PTP メッセージは、[ITU-T G.7041]で指定されている通り、汎用フ

レーミング手順(GFP-F)にカプセル化される。PTP イベントメッセージはタイムスタンプが付けられ、GFP-F にカプセル化された後、この項に記載されている通りに OSMC に挿入される。GFP-F にカプセル化された SSM メッセージ(および PTP 非イベントメッセージ)は、最初の機会に OSMC に挿入される。連続する GFP フレームの間には、GFP アイドルフレームが挿入されることがある。

GFP フレームのマッピングは、各 GFP フレームのバイト構造を OSMC オーバーヘッドフィールドに対応させて行われる。GFP フレームは可変長であり、16 バイトより長い場合があるため、GFP フレームは FlexO マルチフレームの境界を越えて続くことがある。

9.2.8.1 イベントメッセージタイムスタンプの生成

OSMC を介して転送される PTP イベントメッセージのメッセージタイムスタンプポイント[ITU-T G.8260]は、PTP イベントメッセージが含まれる GFP フレームの開始前にあたる 32 フレームマルチフレームイベント(MFAS[4:8] = 00000 に対応)とされている。GFP フレームは 64 バイトより長い可能性があるため、フレームは FlexO の 32 フレームマルチフレームの境界を越えることがある。図 9-8 はタイムスタンプの例と GFP フレーム(PTP メッセージ)との関係を示している。

すべての PTP イベントメッセージは、出力および入力インタフェースでタイムスタンプが付けられる。タイムスタンプは、イベントメッセージタイムスタンプポイントが PTP ノード(すなわち、OTN ノード)とネットワークの境界を示す基準面[ITU-T G.8260]を通過する時刻となる。

イベントメッセージのタイムスタンプは FlexO アクセスポイントで生成される。メッセージタイムスタンプポイントは、MFAS[4:8] = 00000 に対応する 32 フレームの FlexO マルチフレームイベントとして以下に指定される。この場合、FlexO マルチフレームイベントは、MFAS[4:8] = 00000 フレームに対応する最初のアライメントメカニズム(AM)の最初のビットが PTP ノード(すなわち、OTN ノード)とネットワーク(すなわち、イーサネット MDI に相当する点)の間を通過する時と定義される。マルチレーン PHY の場合、PTP パスデータ遅延は、最大メディア伝搬遅延を持つレーンのイーサネット MDI 相当の基準面での AM フィールドの開始から測定される。実際には：

- 出力インタフェースでは、理論上すべてのレーンの AM フィールドが同時に送信されるため、任意の AM をタイムスタンプに使用できる。
- 入力インタフェースでは、すべてのレーンに AM フィールドが存在するが、異なるレーン間でずれが生じる可能性がある。すべてのレーンを通じて最後に受信された AM をタイムスタンプに使用する。

注 1：GFP(PTP イベントメッセージ)フレームの最初のバイトは、32 フレームのマルチフレーム境界の後の 4 から 31 フレームの間に FlexO OSMC に挿入される。

注 2：実装の簡素化のため、4 フレームのガードバンドが定義されている。

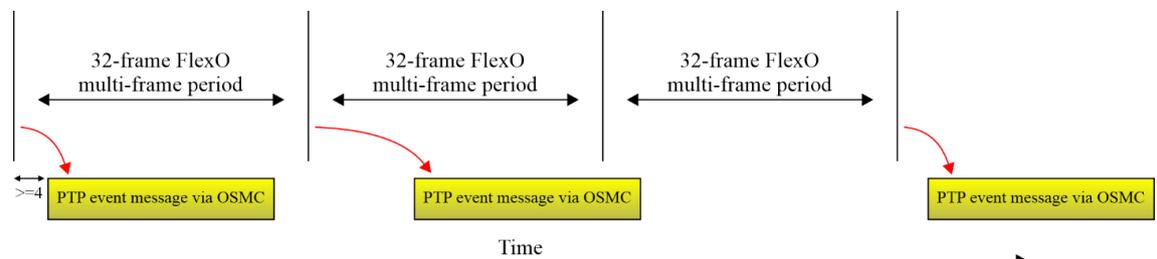


図 9-8/JT-G709.1 OSMC のタイミング図の例 (ITU-T G.709.1)

注 3：この FlexO-x-RS インタフェース実装における時間同期は、[ITU-T G.8260]で定義されたメッセージタイムスタンプポイント以外でイベントメッセージのタイムスタンプを生成しない。

FlexO-x-RS インタフェースにおける時間同期実装では、タイムスタンプは基準面から離れた点で生成される。さらに、基準面からの時間オフセットは、受信と送信のイベントメッセージで異なる可能性がある。この条項の要件を満たすために、生成されたタイムスタンプはこれらのオフセットに対して修正されるべきである。[b-IEEE 1588]の図 19 はこれらのオフセットを示している。このモデルに基づいて、適切な修正は以下の通りとなる。

$$\langle \text{egressTimestamp} \rangle = \langle \text{egressMeasuredTimestamp} \rangle + \text{egressLatency}$$

$$\langle \text{ingressTimestamp} \rangle = \langle \text{ingressMeasuredTimestamp} \rangle - \text{ingressLatency}$$

実際のタイムスタンプ $\langle \text{egressTimestamp} \rangle$ および $\langle \text{ingressTimestamp} \rangle$ は、測定されたタイムスタンプからそれぞれの遅延を考慮して計算される。これらの補正を行わない場合、フォロワーとリーダーの間に時間のずれが生じる。

PTP タイムスタンプは、FlexO-x(e)インタフェースグループの最初の FlexO インスタンス(最小の IID 値)に関連付けられる。

9.3 拡張オーバーヘッド(EOH)の説明

FlexO の EOH フィールドは、FlexO フレームのアライメントメカニズム(AM)フィールドの後に続く 480 ビット(60 バイト)に含まれている。EOH オーバーヘッドは 8 フレームのマルチフレームを使用しない。EOH の構造は図 9-9 に示される。

注：FlexO の拡張オーバーヘッドは、ITU-T 勧告 G.709.1 の 1.0 版から 2.2 版まで FlexOPAD として指定されていた。

特定のアプリケーションで使用されない拡張オーバーヘッドは、全て 0 のパターンを含んでいる。

FlexO の拡張オーバーヘッドのアプリケーションには、FlexOfec、FlexOsec、再生(regen)が含まれる。さらなるアプリケーションは、本標準の将来の版で定義される可能性がある。

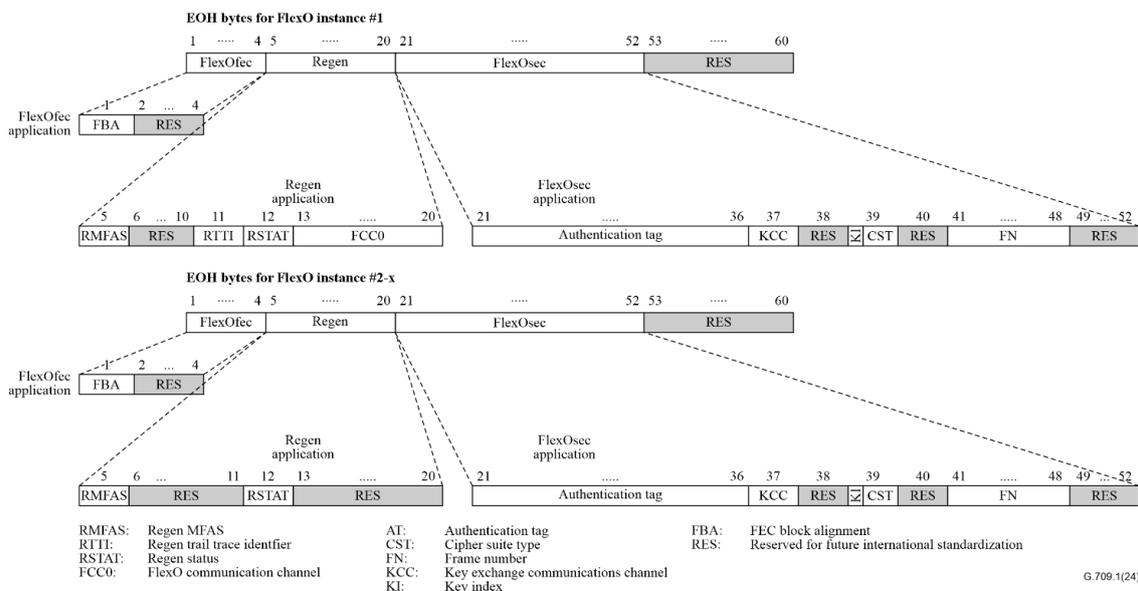


図 9-9/JT-G709.1 FlexO 拡張オーバーヘッド (ITU-T G.709.1)

9.3.1 FlexOfec オーバーヘッド

この版での FlexOfec オーバーヘッドアプリケーションは、[ITU-T G.709.3]で指定されている Staircase

FEC(SC FEC)と関連付けられている。

9.3.1.1 階段型 FEC ブロックアライメント(FBA)フィールド

図 9-9 は、拡張オーバーヘッドフィールドのバイト 1 にある「FBA」オーバーヘッドバイトを示している。FBA の仕様については[ITU-T G.709.3]を参照されたい。

9.3.2 FlexOsec オーバーヘッド

FlexOsec は、セキュリティが確保されていないファイバー、ポイントツーポイントの光ラインシステム、または光ネットワークによって相互接続された 2 つの FlexO インタフェース間で安全な通信を提供する。各 FlexO インタフェース内の認証および承認された FlexO セキュリティエンティティは、ファイバー、ポイントツーポイントの光ラインシステム、または光ネットワークを通じたセキュリティが確保されていない伝送を使用して、その FlexO クライアントに安全な伝送を提供する。

FlexOsec オーバーヘッドは特定のものであり、FlexO グループのインタフェース内のすべての FlexO インスタンスに対して定義されている。FlexOsec オーバーヘッドは図 9-9 に示されており、以下のフィールドを含んでいる。

- 認証タグ(AT)
- フレーム番号(FN)
- キーインデックス(KI)
- 暗号スイートタイプ(CST)
- キー交換通信チャネル(KCC)
- 将来の国際標準化のために予約されたビット(RES)

9.3.2.1 認証タグ(AT)

128 ビット(16 バイト)の認証タグフィールドが提供され、FlexO フレーム内のビットの転送の完全性を保護する。完全性を保証するために生成される値と認証された FlexO フレームの各部分に使用される暗号アルゴリズムは、使用される暗号スイートタイプに依存する。詳細は付属資料 A で確認できる。

AT オーバーヘッドフィールドは、グループインタフェース内の各 FlexO インスタンスにおいて個別に使用される。FlexO インスタンス# のフレーム#j の(一部の)上で計算された認証タグは、次の FlexO インスタンス# のフレーム#j+1 に挿入される。

AT フィールドは、拡張オーバーヘッドフィールドのバイト 21 から 36 に位置している。

9.3.2.2 フレーム番号(FN)

64 ビット(8 バイト)のフレーム番号フィールドが提供され、FlexOsec 接続の両端における呼び出しカウンターを同期させるために使用される。FN は呼び出しカウンターとして、また初期化ベクトル(IV)の生成に使用され、暗号スイートタイプに特有であり、付属資料 A でさらに定義されている。IV は、特定の平文と追加認証データ(AAD)に対する認証付き暗号化の呼び出しに関連付けられた一意の数値である。

FlexOsec フレーム番号は、FlexO MFAS マルチフレームとは別の 4 フレームからなる FlexOsec マルチフレームを作成するためにも使用される。FN は現在の FlexO フレームに対して使用される。FN は毎フレームごとに 1 ずつ増加するが、キー変更イベント時には FN が 0 にリセットされる。

FN フィールドは、拡張オーバーヘッドフィールドのバイト 41 から 48 に位置している。

9.3.2.3 キーインデックス(KI)

2 ビットのキーインデックスフィールドが、両端でのキーの使用を調整するためのインバンドメカニズムに提供されている。送信元では、キー変更/ロールイベント時に KI 値が増加する。KI の値は 4 フレームからなる FlexOsec マルチフレームを通じて一定であり、FN[63, 64]=00 である場合に定義されるマルチフレーム

の境界で増加する。現在のマルチフレーム#k における KI の値は、次のマルチフレーム#k+1 から使用されるキーを示す。

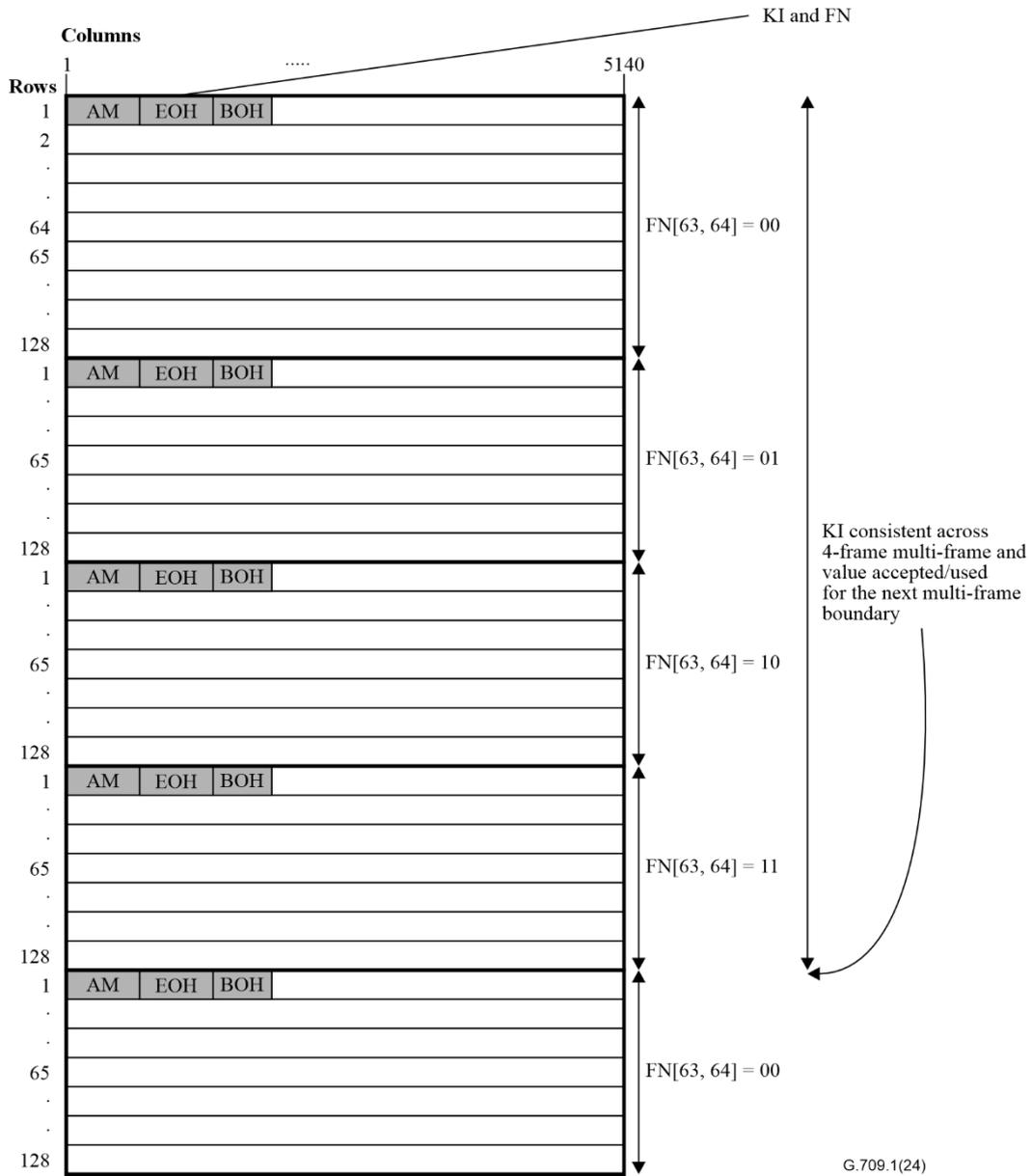


図 9-10/JT-G709.1 キーインデックスの境界 (ITU-T G.709.1)

キーインデックスは、表 9-2 に示されているように、4 つの可能なキーの中から選択するために使用される。

表 9-2/JT-G709.1 キーインデックスの符号化 (ITU-T G.709.1)

KI bits [12]	Interpretation
00	Key #0
01	Key #1
10	Key #2
11	Key #3

KI フィールドは、拡張オーバーヘッドフィールドのバイト 39 のビット 1 とビット 2 に位置している。

9.3.2.4 暗号スイートタイプ(CST)

6ビットの暗号スイートタイプフィールドが提供され、異なるタイプの暗号(暗号がない場合を含む)、プロファイル、またはアプリケーションを識別し区別するために使用される。コードポイントは表 9-3 で定義されている。コードポイント値 000000 は、ソース FlexOsec が存在しないことを示す。

CST フィールドは、拡張オーバーヘッドフィールドのバイト 39 のビット 3 から 8 に位置している。

表 9-3/JT-G709.1 暗号スイートタイプのコードポイント
(ITU-T G.709.1)

CST bits [123456]	Interpretation
000000	ソースとなるFlexOsecなし
000001	GCM-AES-256 FlexOsec(OH暗号化なし)。詳細は付属資料A.1を参照。
000010-110111	FlexOで使用するために、将来標準化された暗号スイート(国家または国際標準化団体や政府機関によって定義)のために予約されているコードポイントである。
010101	FlexO LCKメンテナンス信号用に予約されている。
111000-111110	独自使用のための予約コードである。(注)
111111	FlexO AISメンテナンス信号用に予約されている。 詳細は8.5節を参照。
注 - これら7つのコード値は、今後標準化の対象とはならない。	

9.3.2.5 キー交換通信チャンネル(KCC)

オプションの 8 ビット(1 バイト)キー交換通信チャンネルフィールドが提供され、FlexO のオーバーヘッドを使用してインバンドでキー合意プロトコルを交換するために使用される。

KCC フィールドは、拡張オーバーヘッドフィールドのバイト 37 に位置している。

注 1 : キー合意プロトコルは、複数のベンダ、オペレータ、ユーザ間での相互接続が不要な場合、ベンダ、オペレータ、またはユーザ固有のものである可能性がある。

注 2 : KCC は、各 FlexO-x(e)-<int>インタフェースの最初の FlexO インスタンスにのみ存在する。

9.3.2.6 予約(RES)

FlexOsec オーバーヘッド領域の 6 バイトが将来の国際標準化のために予約されている。これらはバイト 38、40、49、50、51、および 52 に位置している。これらのバイト/ビットは全て 0 に設定されている。

9.3.3 FlexO 再生オーバーヘッド(regen)

再生オーバーヘッドは FlexO の再生機能を有効にするために使用され、すべてのインタフェースで終端される。

注 : ITU-T 勧告 G.709.1 の 2.5 版以前に開発された実装では、再生オーバーヘッドおよび関連する機能はサポートされていない。

再生オーバーヘッドは図 9-9 に示されており、以下のフィールドを含んでいる。

- 再生マルチフレームアライメントシグナル(RMFAS)
- 再生ステータス(RSTAT)
- 再生トレイルトレース識別子(RTTI)
- FlexO 再生通信チャンネル(FCC0)

9.3.3.1 再生マルチフレームアライメントシグナル(RMFAS)

8ビット(1バイト)の再生マルチフレームアライメントシグナルフィールドが提供され、すべての FlexO フレームでインクリメントされる。この RMFAS フィールドは 0x00 から 0xFF までカウントし、256 フレームの FlexO マルチフレームを提供する。このマルチフレームは、2 フレーム、4 フレーム、8 フレーム、16 フレーム、32 フレームなどのマルチフレーム構造のオーバーヘッドを FlexO フレームに同期させるために使用される。RMFAS のシーケンスは、MFAS に対して図 9-3 に示されているものと同一である。RMFAS(EOH) と MFAS(BOH)は独立してインクリメントする。

9.3.3.2 再生ステータス(RSTAT)

図 9-11 に示されているように、一般的なステータス表示のための 8 ビット(1 バイト)フィールドが提供されている。

- リモートフォルト表示(RF)
- ローカルおよびリモート劣化(LD, RD)
- 予約(RES)

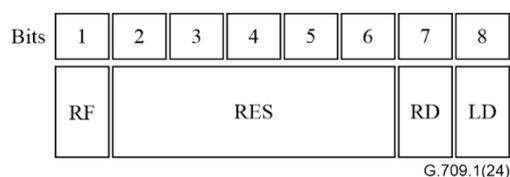


図 9-11/JT-G709.1 FlexO EOH RSTAT フィールド (ITU-T G.709.1)

RSTAT フィールドは、図 9-9 に示されているように、すべてのフレームの EOH バイト 12 に位置している。

9.3.3.2.1 リモートフォルト表示(RF)

再生セクションの監視において、上流方向のリモート FlexO 受信機能で検出された信号障害の状態を伝えるために、単一ビットのリモート障害指標(RF)が使用される。

リモート障害を示す場合、RF は「1」に設定され、障害がない場合は「0」に設定される。

9.3.3.2.2 劣化指標(LD/RD)

FlexO-x(e)-<int>インタフェースの品質を示すために定義された 2 ビットのリンク劣化指標フィールドは、FlexO-x(e)-<int>の事前 FEC BER リンク劣化を検出した際に「1」に設定され、それ以外の場合は「0」に設定される。ローカル劣化(LD)は前方向に伝播し、複数の再生スパンをカバーすることができる。リモート劣化(RD)は後方向に伝播し、単一の FlexO-x(e)-<int>インタフェーススパンのみをカバーする。

注：付属資料 C.2 節では、複数の光リンクの場合の LD/RD の伝播と、イーサネットクライアントリンクのネイティブな指標との相互作用について説明している。

9.3.3.2.3 予約(RES)

RSTAT バイトの 5 ビットは、図 9-11 に示されているように、将来の国際標準化のために予約されている。これらのビットは「0」に設定されている。

9.3.3.3 再生トレイルトレース識別子(RTTI)

FlexO セクションの監視のため、1 バイトのトレイルトレース識別子(RTTI)のオーバーヘッドが定義されており、[ITU G.709]の 15.2 節および図 15-7 で指定されている 64 バイトの TTI 信号を送送するために使用さ

れる。

FlexO-x(e)-<int>インタフェースには、図 9-9 に示されているように、最初のインスタンスで 1 つの RTTI オーバーヘッドが含まれている。

64 バイトの RTTI 信号は、FlexO 再生マルチフレーム(RMFAS)に整列される必要がある。64 バイトの RTTI 信号のバイト 0 は、FlexO RMFAS の値が xx00 0000 のときに存在する必要がある。

9.3.3.4 FlexO 再生通信チャネル(FCC0)

FlexO-x(e)-<int>インタフェースの再生用一般管理通信チャネルとして、1 フレームにつき 64 ビット(8 バイト)のフィールドが提供される。図 9-9 に示されているように、これらのフィールドは、最初の FlexO インスタンスの EOH のバイト 13 から 20 に位置している。

それぞれの FCC0 バイトは、FlexO-x(e)-<int>インタフェースごとに通信チャネルを提供し、その帯域幅は約 10Mbit/s である。

10. FlexO マッピング手順

FlexO のペイロードには OTUCn、イーサネット、PRBS などのクライアントをマッピングすることができる。

10.1 OTUCn クライアントの FlexO-n への BMP マッピング

単一の OTUCn を構成する n 個の OTUC インスタンスは、n 個の FlexO インスタンスのグループからなる単一の FlexO-n にマッピングされる。FlexO-n からのデマッピング後の FlexO メンバの並び替えと OTUCn クライアントのデスキューについては、10.4.1 項を参照。

OTUCn は、昇順の IID 値を持つ n 個の FlexO インスタンスに順番にマッピングされる。

10.1.1 OTUCn の分配と OTUC インスタンスの結合

OTUCn のフレーム構造は[ITU-T G.709]の 11.3 節で規定されており、n 個の OTUC フレームからなる。図 10-1 に示されているように、FlexO のアダプテーションソース機能は OTUCn フレームを n×OTUC インスタンスに分割することで構成される。同様に、アダプテーションシンク機能は n×OTUC インスタンスを OTUCn に結合する。それぞれの単一の OTUC インスタンスは FlexO インスタンスに関連付けられ、複数の FlexO インスタンスは FlexO-n に関連付けられる。

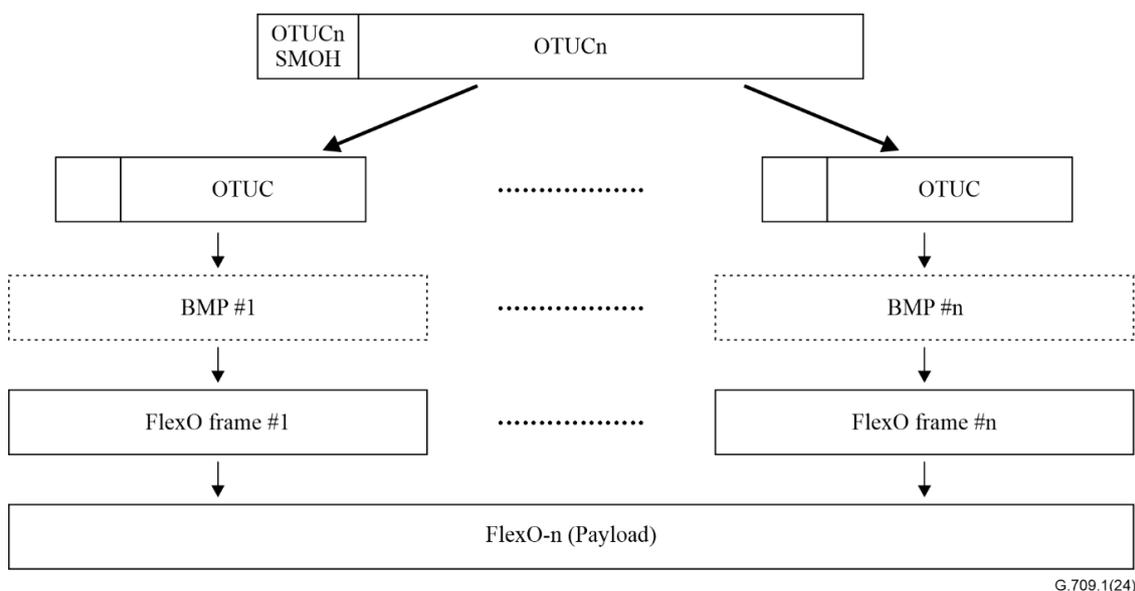


図 10-1/JT-G709.1 OTUCn が FlexO-n に分配される様子 (ITU-T G.709.1)

10.1.2 FlexO マルチフレームペイロード

BMP マッピング手順において、OTUCn を FlexO-n レートまでパディングするために固定スタフが使用される。ペイロード領域をパディングするために、8 フレームの FlexO マルチフレーム構造が定義されている。この構造はマルチフレームアライメント信号(MFAS)オーバーヘッドの最下位 3 ビットを使用して、マルチフレーム内の 8 フレームを識別する。

FlexO マルチフレーム構造は図 10-2 で示されるように、マルチフレームには、FlexO フレームのペイロード領域に 7 箇所の固定スタフ(FS)領域があり、それぞれ 1280 ビットを含む。これらの固定スタフ領域は、マルチフレーム内の最初の 7 フレームの 65 行目、1 列目から 1280 列目に位置する。マルチフレーム内の最後のフレームには固定スタフは含まれない。

固定スタフビットは全て 0 で埋められ、受信側のシンク機能ではチェックされない。

固定スタフ領域を除く FlexO マルチフレームペイロードは、FlexO マルチフレーム全体の 5 263 360 ビット(657 920 バイト)中の 5 244 160 ビット(655 520 バイト)で構成されている。

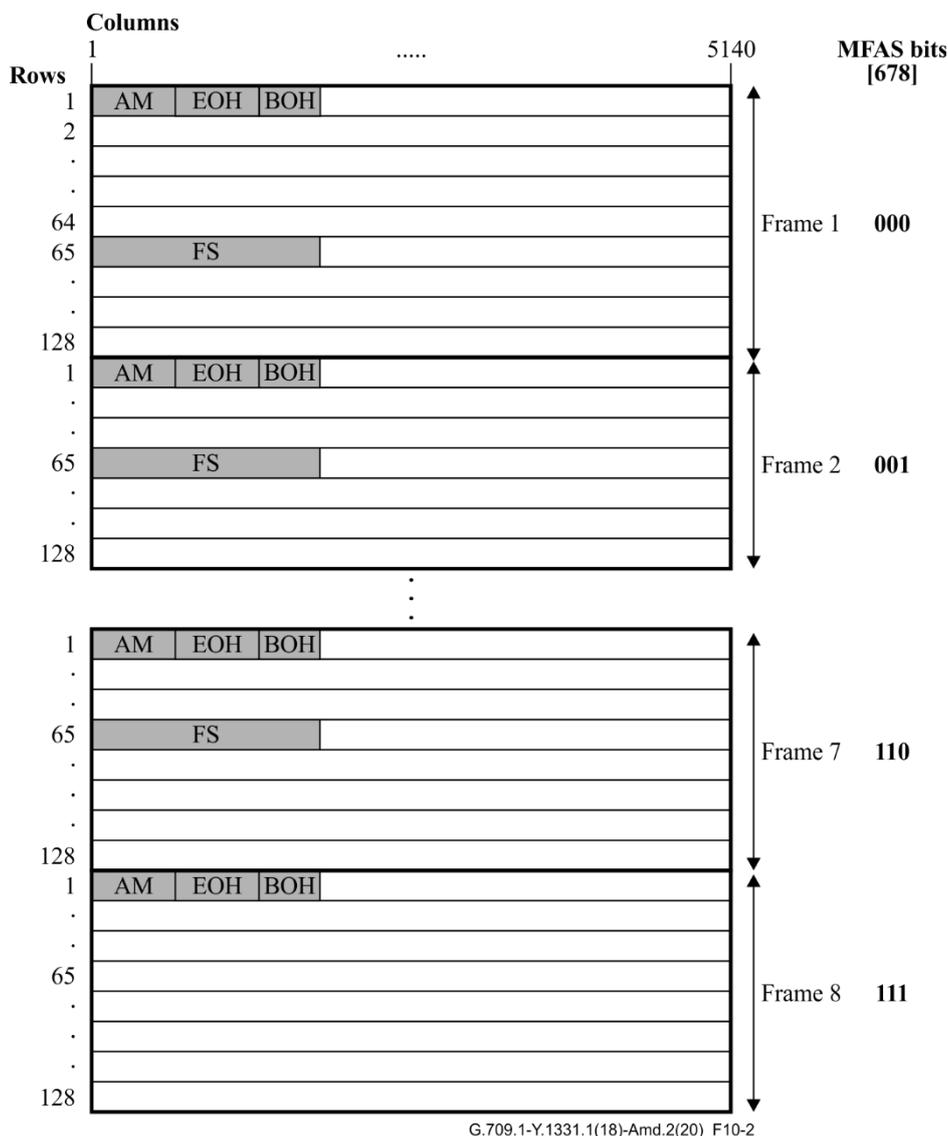


図 10-2/JT-G709.1 FlexO BMP マルチフレーム構造 (ITU-T G.709.1)

FlexO マルチフレームのペイロード領域は 128 ビットブロックに分割される。128 ビットブロックは、FlexO ペイロード領域の開始点(AM、EOH、BOH の後)に合わせて配置される。FlexO フレームのペイロードは、固定スタッフペイロードを含むマルチフレームのフレーム#1-7 では 5120 ブロック、固定スタッフを含まないマルチフレームの 8 フレーム目では 5130 ブロックで構成される。

注：この 128 ビット(16 バイト)ワード/ブロックのアライメントは、100G OTUC のものであり、[IEEE 802.3] の条項 91 における適応プロセスを通じて保持される 100G イーサネット PCS ストリームの 66b ブロックアライメントに類似する。

10.1.3 OTUC から FlexO マルチフレームペイロードへのマッピング

OTUC 信号の連続する 128 ビット(16 バイト)のグループは、[ITU T G.709]の 17 章に指定されているビット同期マッピング手順(BMP)により、FlexO フレームペイロード領域の 128 ビットブロックにマッピングされる。OTUC の 128 ビットグループは OTUC フレーム構造に合わせて配置される。

OTUC フレーム構造は FlexO フレームに対して浮動的である。

OTUC 信号のシリアルビットストリームは、マッパー機能の入力で受信された順序と FlexO-x-<int>インタフェース上で送信される順序が同じとなるように FlexO フレームペイロードに挿入される。

8.3 節に示すように、FlexO フレームと OTUC クライアント間の示されたビットレート比は 4112/4097 である。OTUC 信号のビットレート(最大±20 ppm のビットレートの許容値)は、[ITU-T G.709]の表 7-1 で指定されている OTUCn クライアントのビットレートの 1/n である。

10.1.3.1 OTUC から FlexO フレームへのマッピング

OTUC と FlexO インスタンスは一対一の関係となる。FlexO のペイロード領域は 128 ビットのブロックに分割されており、OTUC は連続する 128 ビットのセグメントにマッピングされる。

FlexO マルチフレームあたりの OTUC フレーム数は、 $(5140 \times 128 \times 8 - 1280 \times 15) / (239 \times 16 \times 8 \times 4) \approx 42.86$ となる。分子は FlexO マルチフレーム内のペイロードビット数で、マルチフレーム内のビット数(1 行あたり 5140 ビット×128 行/フレーム×8 フレーム/マルチフレーム)から、オーバーヘッドまたは固定スタッフ用に使用されるビット数を差し引いたものである(マルチフレーム内のオーバーヘッドとして 1280 ビットが 8 インスタンス、固定スタッフとして 1280 ビットが 7 インスタンス)。分母は OTUC フレームあたりのビット数で、より明確に表現すると 3824 バイト/行 × 8 ビット/バイト × 4 行/フレームとなる。これにより、FlexO フレームあたり約 5 つの OTUC フレーム、または図 10-3 に示されるように、FlexO フレームの約 24 行ごとに新しい OTUC フレームが得られる。

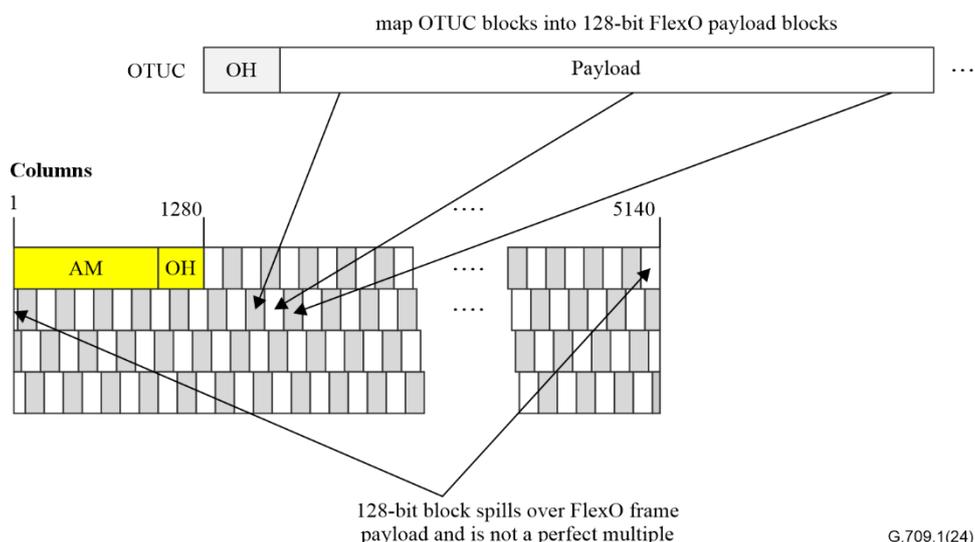


図 10-3/JT-G709.1 100G FlexO フレームペイロードへの OTUC のマッピング (ITU-T G.709.1)

FlexO フレームのペイロードは、単一の行において 128 ビットブロックに綺麗に分割されるわけではない。図 10-3 に示すとおり、ブロックは溢れて行の境界を越える。128 ビットのアライメントは FlexO フレームを通じて常に一貫しており、最初の 128 ビットブロックはオーバーヘッド領域の直後から始まる。

OTUCn 信号が信号障害状態にある場合、この障害を受けた入力信号には、[ITU-T G.709]の 16.4.2 項で指定されている OTUCn-AIS 信号が挿入される。この OTUCn-AIS は、その後 n 個の FlexO インスタンスのペイロードにマッピングされる。

10.1.4 クライアントマッピング固有のオーバーヘッド

図 9-2 に示されているクライアントマッピング固有のオーバーヘッドは、OTUCn の BMP マッピングには使用されず、予約されている。

10.2 イーサネットクライアントの FlexO-ne への GMP マッピング

1 つ以上のイーサネットクライアント(最大±100 ppm のビットレート許容誤差を持つ)は、GMP(generic mapping procedure)を用いて n 個の FlexO インスタンス(FlexO-ne)に直接マッピングできる。これらの n 個の

FlexO フレームは位相同期され、マルチフレームに整列している。表 10-2 は、このマッピング手順によって定義されるイーサネットクライアントを指定する。

イーサネットクライアントごとに、マッピングを行う前に、マッパーはまず 257b クライアントストリームを復元する必要がある。これは OTN 参照信号と呼ばれている。

100GBASE-R クライアントの場合、アライメントマーカ内の BIP カウンターは使用されない。100GBASE-R は 257b トランスコーディングの前にスクランブルを行うため、これらのクライアントに対してデスクランブルは実行されない。

200GBASE-R および 400GBASE-R クライアントの場合、アライメントマーカから取り除かれる前に $am_sf<2:0>$ ビットが抽出され、[IEEE 802.3]の 119.2.4.3 項に従って 257b ブロックがデスクランブルされる。

800GBASE-R クライアントの場合、アライメントマーカから取り除かれる前に $am_sf<2:0>$ ビットが抽出され、両方の 400G フロー間で OR 演算され、アライメントマーカなしで 2 つの 257b ストリームがデスクランブルされる(400G フロー 0 および 400G フロー 1)。これは[IEEE 802.3df]の 172.2.4.2 項に従う。

デマッパーでは、逆のプロセスが実行される。200GE/400GE/800GE クライアントタイプの場合、257b ブロックは[IEEE 802.3]の 119.2.4.3 項に記載されている手順に従ってスクランブルされ、受信した FlexO フレームのオーバーヘッドフィールドから抽出された $am_sf<2:0>$ フィールドは、CSTAT の 10.2.3.3 項に記載されているように処理され、アライメントマーカフィールドの適切な位置に挿入される。100GE クライアントの場合、BIP カウンターは再計算されて挿入される。100GE クライアントにはスクランブルは実施されない(ブロックはそのままの状態ですクリンブルされている)。

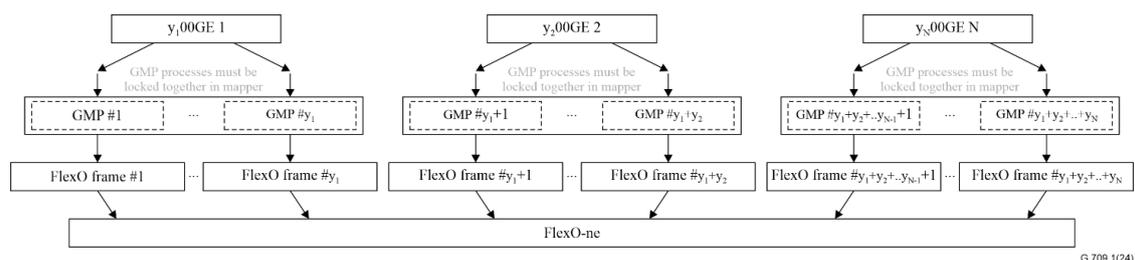


図 10-4/JT-G709.1 GMP を使用したイーサネットクライアントのマッピング (ITU-T G.709.1)

100GBASE-R(100GE)クライアントの場合、257b ストリームは対応する FlexO インスタンスのペイロード領域に直接マッピングされる。

$y00GBASE-R(y=2,4,8)$ クライアントの場合、257b ストリームは 257b ブロックごとに分割され、ラウンドロビン方式によって y 個の 100G 257b ストリームに分けられ、それぞれ対応する y 個の FlexO インスタンスのペイロード領域にマッピングされる。

10.2.1 FlexO フレームおよび 4 フレームマルチフレームのペイロード構造

FlexO フレームのペイロード領域は 257 ビットのペイロードブロックに分割されている(図 10-5)。ペイロード領域を 257 ビットの倍数とするために、AM、EOH、BOH に続く 5 ビットはパディングされる。257 ビットのペイロードブロックは、5 ビットのパディング領域の直後から始まるように並べられる。FlexO フレームのペイロードには 2555 個の 257 ビットブロックから構成される。

注：このマッピングにおいて、FlexO の 8 フレームからなるマルチフレームの 1 から 7 フレーム目に固定スタップはない。

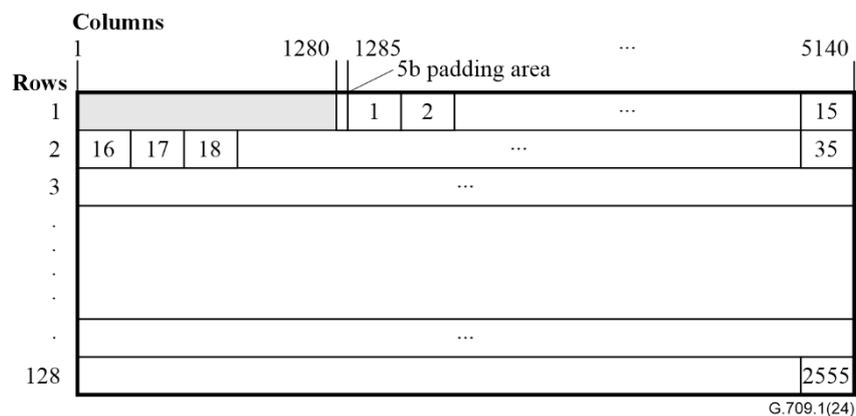


図 10-5/JT-G709.1 257b ブロックを含むペイロードを示す FlexO フレーム (ITU-T G.709.1)

イーサネットクライアント信号のマッピング用に、ペイロード領域を 257 ビットペイロードブロックで構成する FlexO の 4 フレームマルチフレーム構造を図 10-6 に示す。このサーバーペイロード領域は、イーサネットクライアントマッピングのために 10220 個の 257 ビットブロックで構成される。y00GE クライアントは、y 個の位相同期された 4 フレームマルチフレームの FlexO インスタンスへ GMP マッピングされるため、そのサーバーペイロード領域は実際には $10220 \times [y \times 257]$ ビットブロックで構成される。

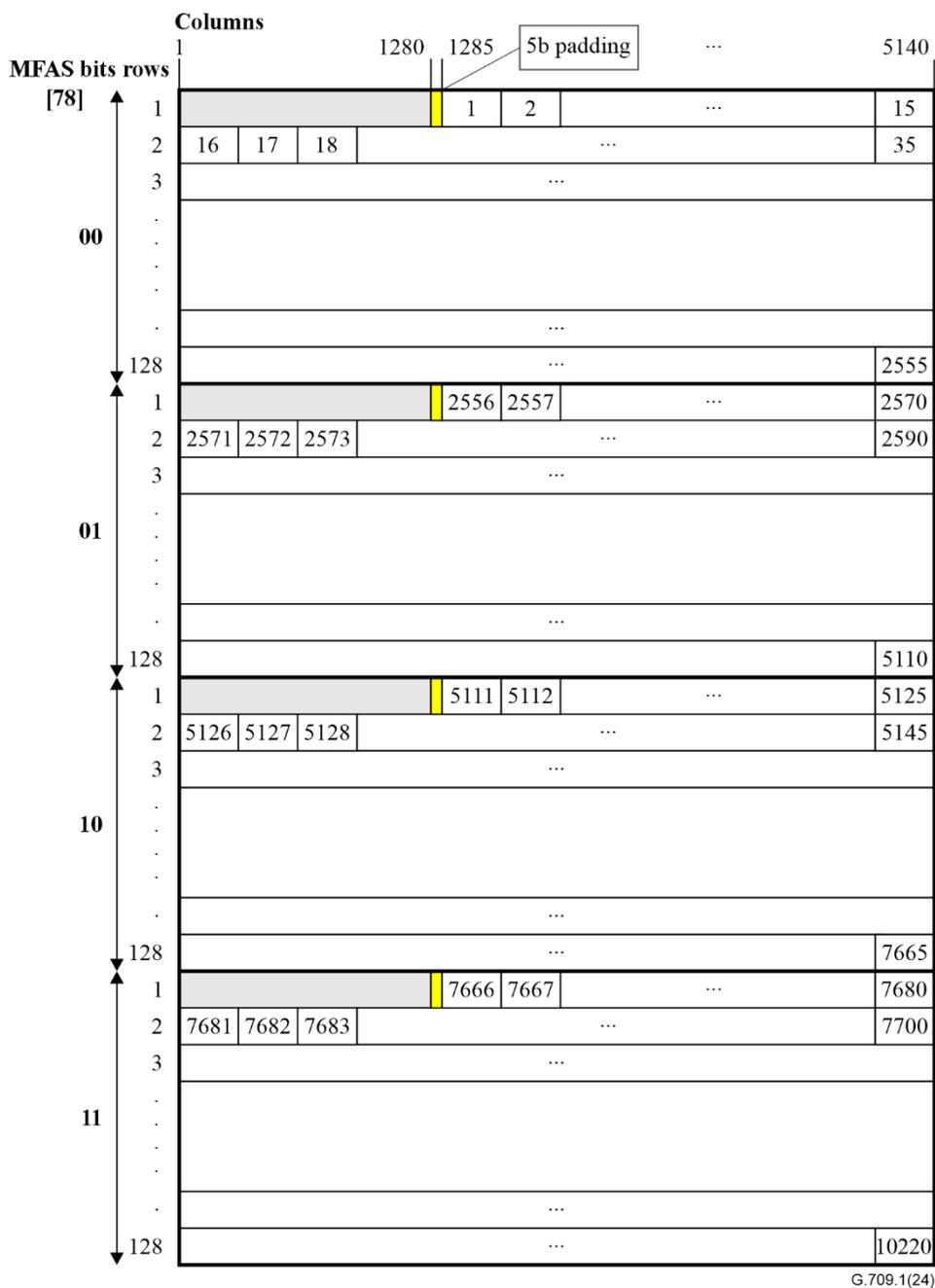


図 10-6/JT-G709.1 イーサネットクライアント信号の GMP マッピング用の 257 ビットペイロードブロックを持つ FlexO インスタンスペイロードの 4 フレームマルチフレーム構造 (ITU-T G.709.1)

FlexO-ne ペイロードのビットレートを表 10-1 に示す。

表 10-1/JT-G709.1 FlexO-ne ペイロードビットレート (ITU-T G.709.1)

インタフェース	FlexO-ne ペイロード公称ビットレート	FlexO-n(e) ペイロードビットレート許容誤差
FlexO-ne	$n \times 1594685/1900544 \times 766 \times 156\ 250$ kbit/s	± 20 ppm
注：FlexO-neペイロードビットレート：約 $n \times 100\ 425\ 910.128$ kbit/s。FlexO-neペイロードのビットレートは、156Mイーサネットクロックの倍数から次のように導出できる： $n \times 511/512 \times 514/544 \times 1445/1624 \times 766 \times 156\ 250$ kbit/s		

10.2.2 イーサネットクライアント

各イーサネットクライアントは、アライメントマーカークが取り除かれた 257 ビットブロックのシーケンスとして収容される。

マッピング(ソース)方向では、イーサネットクライアントは[IEEE 802.3]の条項 91 に記載されている 100GBASE-R、条項 119 に記載されている 200GBASE-R/400GBASE-R、条項 172 に記載されている 800GBASE-R と同様のプロセスを使用して復元される。物理インタフェースのレーンは、26 562 500 kbit/s の論理レーンにビット単位で逆インターリーブされる。各 PCS レーンでレーンアライメントマーカークをロックすることで、レーンのデスクューと並び替え、FEC 符号語の同期と誤り訂正が可能となる。マッパーは FEC パリティビットとアライメントマーカークを抽出し、デスクランブルを実行する(ただし、100GBASE-R クライアント以外)。257B/256B エンコードされた信号は FlexO-ne ペイロードに収容される。訂正不能な FEC 符号語は、トランスコードされた 257B ブロック形式のエラーコントロールブロックに置き換えられる。これらのブロックの順序とビットの順序は、FEC デコード前の信号内の順序と一致する必要がある。100GBASE-R クライアントの場合、アライメントマーカークに含まれる BIP カウンターは、アライメントマーカークと共に破棄される。200GBASE-R/400GBASE-R/800GBASE-R クライアントタイプの場合、アライメントマーカークを除去する前にクライアントの am_sf<2:0>ビットを抽出し、FlexO フレームのオーバーヘッド領域で送信される。また、257B ブロックは[IEEE 802.3]標準の 119.2.4.3 項に記載されている手順に従ってデスクランブルされる。

デマッピング(シンク)方向では、逆のプロセスが実装される。200GBASE-R/400GBASE-R クライアントタイプの場合、257b ブロックは[IEEE 802.3]の 119.2.4.3 項に記載されている手順に従ってスクランブルされ、受信した FlexO フレームのオーバーヘッドフィールドから抽出された am_sf<2:0>フィールドは、10.2.3.3 項に記載されている CSTAT に関する手順に従って処理され、アライメントマーカークの適切な位置に挿入される。100GBASE-R クライアントの場合、BIP カウンターは再計算されて挿入される。100GBASE-R クライアントにはスクランブルは実施されない(ブロックはそのままの状態ですクランブルされている)。800GBASE-R の場合、257B のクライアントデータブロックが 400G フロー0 と 400G フロー1 にデインターリーブされ、[IEEE 802.3df]の 172.2.4.2 項に指定されている OTN 参照信号で 800GBASE-R クライアントストリームが取得される。スクランブルが実施され、アライメントマーカークと FEC パリティビットが 800GBASE-R PCS レーンの分配と PMA インタフェースでの物理レーンへのインターリーブの前に各 400G フローに挿入される。

FlexO-ne イーサネットクライアントのビットレートは表 10-2 に記載されており、対応する代替信号は表 10-3 に記載されている。

表 10-2/JT-G709.1 FlexO-ne イーサネットクライアント
(ITU-T G.709.1)

クライアント信号	公称ビットレート(kbit/s)	ビットレート許容誤差(ppm)
100GBASE-R	16383/16384 × 100 390 625	±100
200GBASE-R	20479/20480 × 200 781 250	±100
400GBASE-R	20479/20480 × 401 562 500	±100
800GBASE-R (注)	2 × 20479/20480 × 401 562 500	±50
注：この信号は、アライメントマーカークを含まず、かつスクランブルされていない 2 つの同期した 256B/257B エンコードされた 400G フロー(400G フロー0 および 400G フロー1)を表している。		

表 10-3/JT-G709.1 FlexO-ne イーサネットクライアントの代替信号
(ITU-T G.709.1)

クライアント信号	代替信号	ビットレート許容誤差(ppm)
100GBASE-R	Scrambled LF (注1)	±100
200GBASE-R	LF (注1)	±100
400GBASE-R	LF (注1)	±100
800GBASE-R	LF (注2)	±50

注1：100GBASE-R、200GBASE-R、400GBASE-R 信号の代替信号は、[IEEE 802.3]の図 82-5 に従ってコントロールブロックタイプ 0x4B を使用してエンコードされる LF シーケンスオーダセットの連続ストリームである。257B トランスコーディングおよびアライメントマーカの挿入は、デマッピング方向のストリーム上で実行される。200GBASE-R/400GBASE-R 信号はその後スクランブルされる。

注2：800GBASE-R 信号の代替信号は、[IEEE 802.3]の図 82-5 に従ってコントロールブロックタイプ 0x4B を使用してエンコードされる LF シーケンスオーダセットの連続ストリームであり、その後[IEEE 802.3]の 119.2.4.2 項に指定されているように 256B/257B トランスコードされる。257 ビットブロックのデインターリーブを 2 つの整列された 400G フローに分け、アライメントマーカの挿入は、デマッピング方向でこれら 2 つの整列された 400G ストリームの 257 ビットブロック上で実行された後、これらの信号はスクランブルされる。

10.2.3 クライアントマッピング固有のオーバーヘッド

図 9-2 に示されているクライアントマッピング固有のオーバーヘッドは、図 10-7 に示されているように、多重構造識別子(MSI)、スタッフ制御(JC1-JC6)、およびクライアント状態(CSTAT)のオーバーヘッドで構成されている。FlexO のオーバーヘッド位置は、各 FlexO インスタンスに存在する。

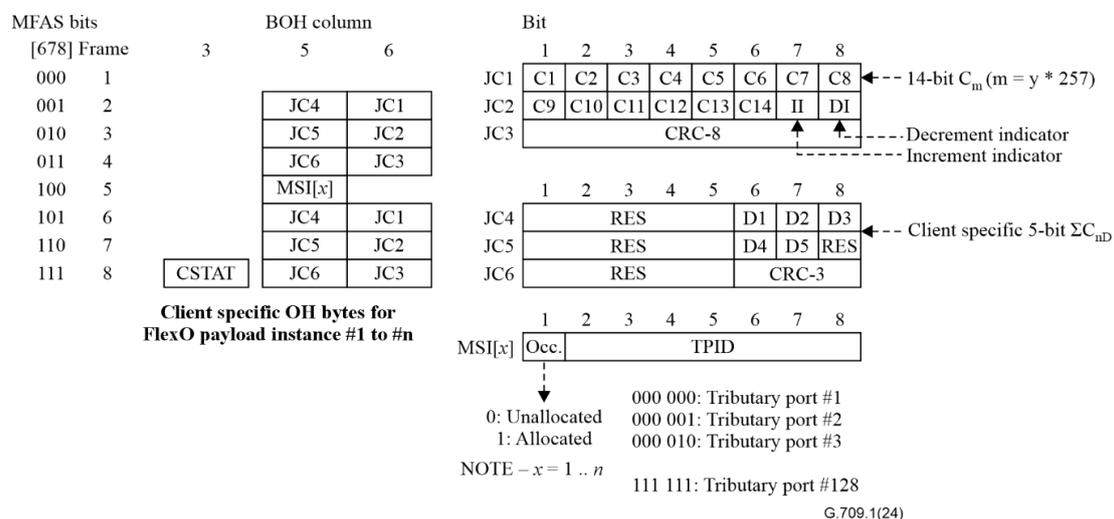


図 10-7/JT-G709.1 イーサネットを FlexO-ne にマッピングするための
クライアントマッピング固有のオーバーヘッド
(ITU-T G.709.1)

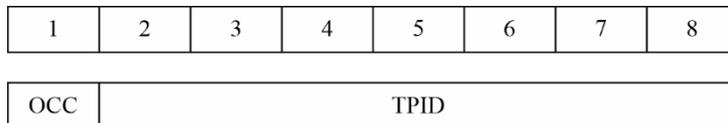
10.2.3.1 FlexO 多重構造識別子(MSI)

FlexO 多重構造識別子(MSI)オーバーヘッドは、図 10-8 に示されているように、フレーム 5 のオーバーヘッドバイト 5 に、全 n 個の FlexO フレームにわたって配置されている。MSI は、各 FlexO インスタンスペイロードのイーサネットコンテンツを示す。各 FlexO インスタンスに 1 バイトが使用される。

FlexO 占有(OCC)ビット 1 は、FlexO インスタンスペイロードが割り当てられているか未割り当てかを

示す。

- トリビュータリポート識別子(TPID)はビット 2 から 8 にあり、この FlexO インスタンスで転送されているイーサネットクライアントのトリビュータリポート番号を示す。イーサネットトリビュータリポートは 1 から 128 まで番号付けされている。占有ビットが 0 の場合(FlexO インスタンスが未割り当ての場合)、値は全 0 に設定される。



G.709.1(24)

図 10-8/JT-G709.1 イーサネット GMP MSI (ITU-T G.709.1)

10.2.3.2 FlexO ジャスティフィケーションオーバーヘッド(JC)

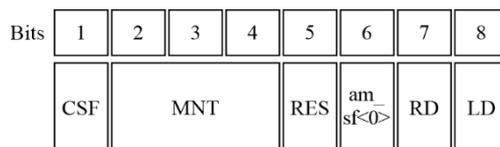
GMP オーバーヘッドは、4 フレームマルチフレームごとに JC1-JC6 のバイトで 1 回送信される。14 ビットの $C_m(t)$ (m ビットブロックカウント値)は、JC1 および JC2 の C1-14 ビットに格納され(C1=MSB、...、C14=LSB)、エンコードされた 5 ビットの $\Sigma C_{nd}(t)$ ($C_{nd}(t)$ の累積値)は、JC4 および JC5 の D1-D5 ビットに格納される(D1=MSB、... D5=LSB)。

$C_m(t)$ は CRC8 (JC3 OH バイトに搭載)で保護され、 $\Sigma C_{nd}(t)$ は CRC3 (JC6 OH バイトの下位 4 ビットに搭載)で保護される。JC1-JC6 のバイトセットが 4 フレームマルチフレームごとであるため、図 10-7 に示される 8 フレームマルチフレームでは 2 回表示される。

10.2.3.3 クライアント状態(CSTAT)

図 10-9 に示されているように、一般的なステータスを示すために 8 ビット(1 バイト)の領域が割り当てられている。

- クライアント信号故障(CSF)
- メンテナンス(MNT)
- クライアントのローカルおよびリモート劣化(LD, RD)
- 予約(RES)



G.709.1(24)

図 10-9/JT-G709.1 イーサネット GMP CSTAT フィールド (ITU-T G.709.1)

10.2.3.3.1 クライアント信号障害(CSF)

クライアント信号故障(CSF)ビットは、入力クライアントで故障が検出された場合に「1」に設定され、それ以外の場合は「0」に設定される。クライアント信号故障(CSF)ビットは、下流方向のローカル受信(RX)クライアントインタフェースで検出された前方信号故障の状態を示す。クライアント故障時の代替信号は表 10-3 で示すように[IEEE 802.3]で定義されるイーサネットローカルフォルト(LF)であり、ローカルクロックを使用して生成される。

10.2.3.3.2 予約(RES)

CSTAT バイトの 1 ビットは、図 10-9 に示されているように、将来の国際標準化のために予約されている。このビットは「0」に設定される。

10.2.3.3.3 メンテナンス(MNT)

CSTAT バイトの 3 ビットがメンテナンス状態を示すために使用される。

- 000 – 通常運用
- 101 – LCK

注：100 の値は FlexOsec スケルチパターンのために予約されている。

ロック(LCK)は、上流の接続が「ロック」されていることを示すために下流に送信される信号である。クライアントのロックされたメンテナンスの代替信号は、ローカルクロックを使用して生成された[IEEE 802.3]で定義されるイーサネットローカルフォルト(LF)である。

10.2.3.3.4 クライアント劣化指示(LD/RD)

3 ビットのホストリンクにおける伝送品質劣化を指示する領域が、クライアント信号の品質を下流デバイスに示すために定義されている。これはクライアント信号アライメントマーカから透過的に伝達され、am_sf<0>(予約済み)、am_sf<1>(リモート劣化 RD)、am_sf<2>(ローカル劣化 LD)として示される。

これらは 200GBASE-R、400GBASE-R、800GBASE-R クライアントにのみ適用され、付属資料 C に記述されている方法で適用される。

10.2.4 y00GBASE-R クライアントを FlexO-ne の y 個の FlexO インスタンスにマッピングすることについて

y00GBASE-R 信号(ビットレートの許容誤差が最大±100ppm または±50ppm)を FlexO-ne の y 個の FlexO ペイロードインスタンスにマッピングする処理は、[ITU-T G.709]の Annex D および本標準の付属資料 B に記載されている汎用マッピング手順(GMP)を用いて行われる。

FlexO-ne の y 個の FlexO ペイロードインスタンスは、表 8-1 に定められた許容値でローカルに生成されたクロックから作成され、y00GBASE-R 信号とは独立している。

y00GBASE-R 信号は、[ITU-T G.709]の Annex D に記載されている汎用マッピング手順(GMP)を用いて、ローカルに生成された FlexO-ne の y 個の FlexO ペイロードインスタンス用のクロックに乗せ換えられる。 C_n 、 $C_n(t)$ 、および $C_{nd}(t)$ における n の値は、付属資料 B で指定される。

y 個の連続する y00GBASE-R の 257 ビットワードは、FlexO-ne の 257 ビットワードからなる y 個の連続する FlexO ペイロードインスタンスにマッピングされる。

注 1：y00GBASE-R の 257 ビットワードのアライメントはマッピング処理を通じて保持される。例えば、y00GBASE-R の最初の 257 ビットの位置は、常に FlexO-ne 構造の y 個の FlexO ペイロードインスタンスの開始から整数個の 257 ビットワードの後に位置する。

y00GBASE-R 信号の場合、汎用マッピング手順は、[ITU-T G.709]の Annex D に従って、FlexO-ne マルチフレームの y 個の FlexO ペイロードインスタンスごとに一度、 $C_m(t)$ および $C_{nd}(t)$ 情報を生成し、この情報を FlexO-ne のスタッフ制御オーバーヘッド JC1/JC2/JC3 および JC4/JC5/JC6 にエンコードして y 個の FlexO ペイロードインスタンスに格納する。クライアントが複数の FlexO-ne のペイロードインスタンスに分割されている場合、マッパーはロックされ、JC バイトは複製され、クライアントを運ぶすべての FlexO インスタンスに挿入される。

JC4/JC5/JC6 OH における n ビットタイミング情報(ΣC_{nd})のサポートが必要である。

y00GBASE-R 信号が信号故障状態にある場合、この故障を受けた入力信号には、表 10-3 で指定されている y00GBASE-R 代替信号が含まれる。この y00GBASE-R 代替信号は、FlexO-ne の y 個の FlexO ペイロードインスタンスにマッピングされる。

クライアント信号の y 個の 100G ストリームは、y 個の 100G の整列した 257 ビットブロックストリームとして、FlexO-ne 構造の y 個の FlexO ペイロードインスタンスにマッピングされる。このマッピングのためのペイロード領域は、昇順の IID 順に並べられた $y \times \text{FlexO}$ インスタンスの整列した 4 フレームマルチフレームのペイロードから構成される。クライアントの m 個の連続するビットは、GMP データ/スタッフ制御メカニズムの制御の下、整列した 4 フレームマルチフレームペイロード領域の m ビットにマッピングされる。整列した 4 フレームマルチフレームペイロード領域の各 m 個のグループは、m 個のクライアントビットまたは m 個のスタッフビットを運ぶことができる。スタッフビットはゼロとして送信され、受信時には無視される。

y00GBASE-R クライアントを「FlexO-ne の y 個の FlexO ペイロードインスタンス」にマッピングする際の m 、 $C_{m,nom}$ 、 $C_{m,min}$ 、 $C_{m,max}$ 、 n 、 $C_{n,nom}$ 、 $C_{n,min}$ 、および $C_{n,max}$ の値は付表 B-1 の通りである。

GMP は固定されていないスタッフ位置を持つマッピングである。ペイロード内のスタッフ位置は、 $C_m(t)$ 値に基づいたデルタシグマアルゴリズムを使用して決定される。

参考として、表 10-4 に特定の C_m 値に対する「スタッフ」の GMP ブロックの位置を示す。

表 10-4/JT-G709.1 GMP スタッフ位置 (ITU-T G.709.1)

C_m	locations
10220	N/A
10219	1
10218	1, 5111
10217	1, 3407, 6814
10216	1, 2556, 5111, 7666
10215	1, 2045, 4089, 6133, 8177
10214	1, 1704, 3407, 5111, 6814, 8517

デマッピングプロセスは、JC1/JC2/JC3 および JC4/JC5/JC6 から $C_m(t)$ と $C_{nD}(t)$ をデコードし、付属資料 B に従って $C_m(t)$ と $C_{nD}(t)$ を解釈する。CRC-8 は、JC1、JC2、JC3 信号の 1 ビット目から 8 ビット目のエラーに対する保護に使用される。CRC-3 は、JC4、JC5、JC6 信号の 6 ビット目から 8 ビット目のエラーに対する保護に使用される。

y 個の連続する y00GBASE-R の 257 ビットワードは、FlexO-ne の 257 ビットブロックからなる y 個の連続する FlexO ペイロードインスタンスからデマッピングされる。

FlexO-ne 信号が信号故障状態にある場合、表 10-3 で指定されている y00GBASE-R 代替信号パターンが、失われた y00GBASE-R 信号の代わりの信号として生成される。

10.3 OTUCn クライアントを FlexO-n に GMP マッピングする

この節では、クライアント信号種別に依存しない汎用マッピング手順(GMP)を使用して、OTUC_{n_i} を FlexO-n ペイロードに多重化する方法を規定している。

この OTUC_{n_i} から FlexO-n ペイロードへの多重化は、GMP を使用して OTUC_{n_i} を n_i 個の FlexO ペイロードインスタンスに非同期マッピングすることによって行われる。

FlexO-n は、最大で n 個の異なる OTUC_{n_i} 信号をサポートする。

n 個の FlexO インスタンス(FlexO-n)のセットは、GMP を介して複数の OTUC_{n_i} ($i = 1..N$)信号を運ぶことができる。最も一般的なケースでは、 $n = n_1 + n_2 + \dots + n_N$ の OTUC インスタンスが OTUC_{n_i} ($i = 1..N$)から FlexO-n にマッピングされる。FlexO-n からデマッピングされた後の各 OTUC_{n_i} クライアントの FlexO メンバの並び

替えとデスキューについては、10.1.4 項を参照。

OTUC_{n_i} は、昇順の IID 値を持つ n_i 個の FlexO インスタンスに順番にマッピングされる。

10.3.1 OTUC_{n_i} の分配と OTUC インスタンスの結合

OTUC_n フレームは[ITU-T G.709]の 11.3 節で規定されており、n 個の同期した OTUC フレームからなる。図 10-10 に示されているように、OTUC_{n_i} は、各 OTUC_{n_i} フレームを n_i × OTUC インスタンスに分割し、その後、各 OTUC インスタンスを GMP 処理よりの FlexO インスタンスにマッピングすることで多重化される。1 つの OTUC_{n_i} に関連する n_i 個の GMP プロセスは、OTUC_{n_i} から FlexO へのマッパーで連動してロックされることも、独立して操作されることもある。デマッパーでは、各 GMP プロセスが独立して処理される。

同様に、OTUC_{n_i} の分離処理では、GMP 処理により各 OTUC インスタンスをその FlexO インスタンスから抽出し、各 OTUC_{n_i} の n_i × OTUC インスタンスを OTUC_{n_i} に結合する。

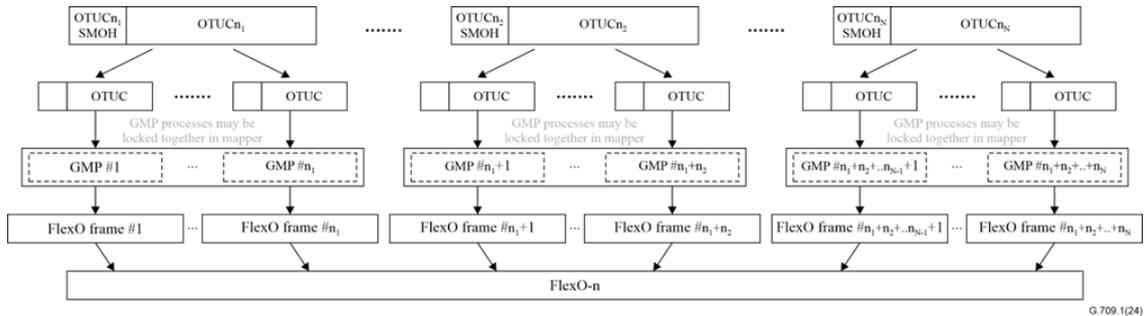


図 10-10/JT-G709.1 複数の OTUC_{n_i} クライアントを FlexO-n にマッピング (ITU-T G.709.1)

10.3.2 FlexO フレームおよび 4 フレームマルチフレームのペイロード構造

FlexO フレームのペイロード領域は、256 ビットのペイロードブロックに分割されている(図 10-11 参照)。256 ビットのペイロードブロックは、FlexO ペイロード領域の開始部分(AM、EOH、BOH の後)に合わせて配置される。FlexO フレームのペイロードは、2565 個の 256 ビットブロックから構成される。

注：このマッピングにおいて、FlexO 8 フレームマルチフレームの 1 フレーム目から 7 フレーム目に固定スタップは存在しない。

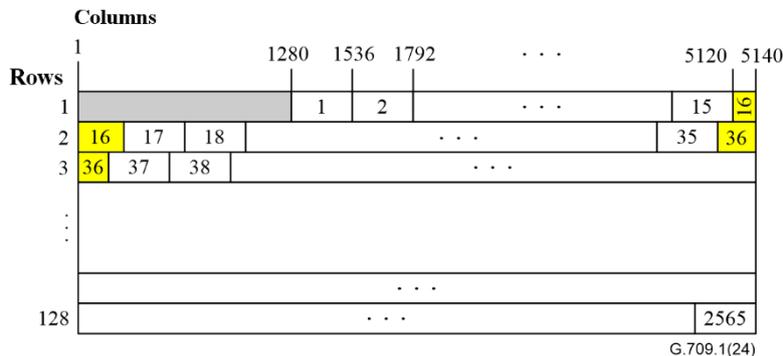


図 10-11/JT-G709.1 256 ビットペイロードブロックを持つ FlexO フレームのペイロード構造 (ITU-T G.709.1)

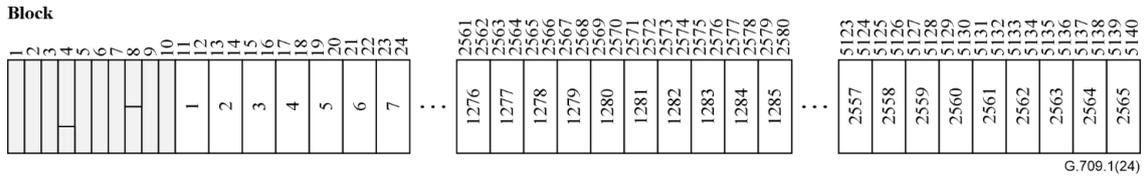


図 10-12-256 ビット GMP ブロックを含む 128 ビットブロック形式の FlexO フレームペイロード構造 (ITU-T G.709.1)

図 10-13 および図 10-14 に OTUC クライアント信号のマッピング用に、ペイロード領域に 256 ビットペイロードブロックを持つ FlexO ペイロードの 4 フレームマルチフレーム構造を示す。ペイロード領域は 10260 個の 256 ビットブロックから構成される。

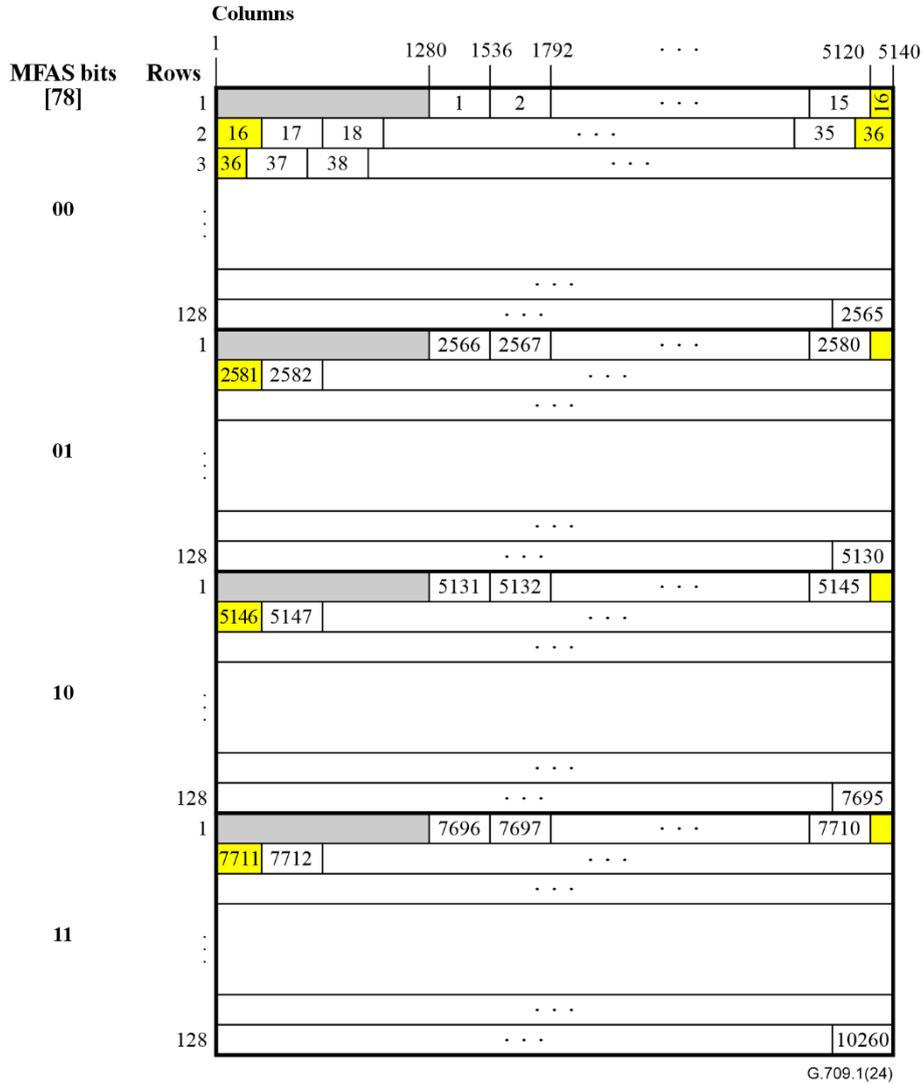
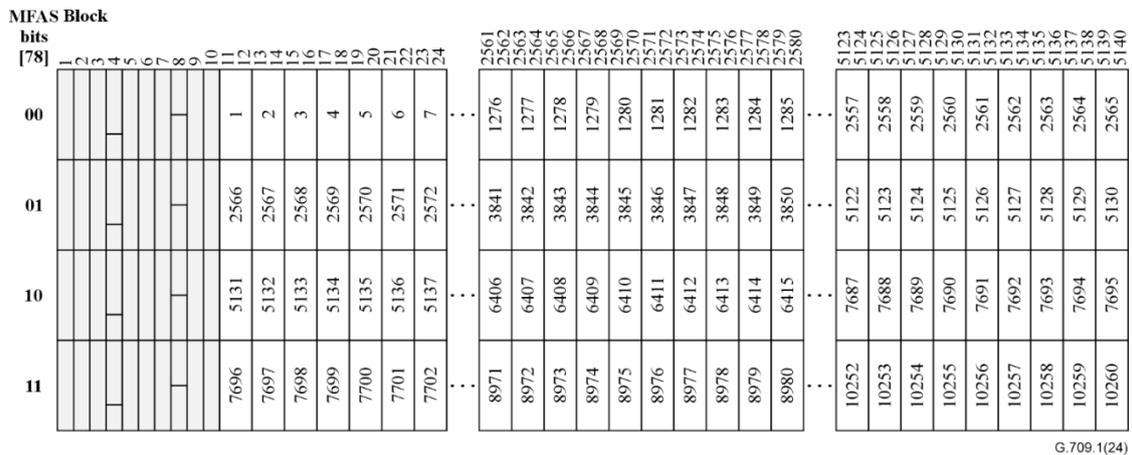


図 10-13/JT-G709.1 OTUC クライアント信号の GMP マッピング用 256 ビットペイロードブロックを持つ FlexO ペイロード 4 フレームマルチフレーム構造 (ITU-T G.709.1)



G.709.1(24)

図 10-14/JT-G709.1 OTUC クライアント信号の GMP マッピング用 256 ビットペイロードブロックを含む 128 ビットブロック形式の FlexO ペイロード 4 フレームマルチフレーム構造 (ITU-T G.709.1)

FlexO-n ペイロードのビットレートは表 10-5 で定義される。

表 10-5/JT-G709.1 FlexO-n ペイロードビットレート (ITU-T G.709.1)

インタフェース	FlexO-n ペイロード公称ビットレート	FlexO-n ペイロードビットレート許容誤差
FlexO-n	$n \times 490428/462961 \times 99\,532\,800$ kbit/s	± 20 ppm
注：公称の FlexO-n ペイロードビットレートはおおよそ次の通りとなる： $n \times 105\,437\,978.660$ kbit/s。FlexO-n ペイロードビットレートは、OTUC ビットレートから次のように導出される： $n \times 513/514 \times 4112/4097 \times \text{OTUC ビットレート} = n \times 513/514 \times 4112/4097 \times 239/226 \times 99\,532\,800$ kbit/s		

10.3.3 クライアントマッピング固有のオーバーヘッド

OTUCn の多重化において、マッピング固有のオーバーヘッドは、多重構造識別子(MSI)とスタッフ制御(JC1-JC6)のオーバーヘッドから構成される。FlexO の MSI および JC1-JC6 のオーバーヘッドの位置は図 10-15 に示されており、 $n = n_1 + n_2 + \dots + n_N$ の FlexO インスタンスのグループの各 FlexO インスタンスに存在する。

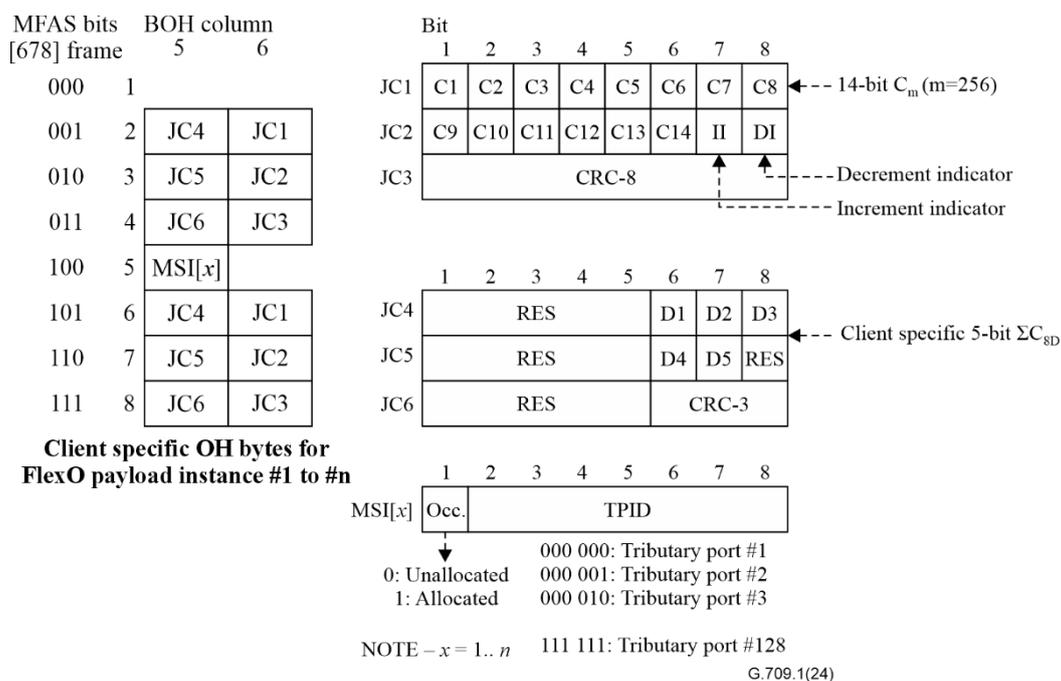


図 10-15/JT-G709.1 FlexO 多重化および正当化オーバーヘッド (ITU-T G.709.1)

10.3.3.1 FlexO 多重構造識別子 (MSI)

FlexO 多重構造識別子(MSI)オーバーヘッドは、FlexO-n ペイロード内の OTUC 多重構造をエンコードし、図 10-15 に示されるように、全 n 個の FlexO フレームの第 5 フレーム、オーバーヘッドバイト 5 に位置する。MSI は、各 FlexO インスタンスペイロードの OTUC 内容を示す。各 FlexO インスタンスに 1 バイトが使用される。

- FlexO 占有ビット 1 は、FlexO インスタンスペイロードが割り当てられているか未割り当てかを示す。
- ビット 2 から 8 のトリビュータリポート識別子は、この FlexO インスタンスに収容されている OTUC_n の OTUC インスタンスのトリビュータリポート番号を示す。2 つ以上の FlexO インスタンスに運ばれる OTUC_n の場合、トリビュータリポートを FlexO インスタンスに柔軟に割り当てることが可能である。OTUC_n のトリビュータリポートは 1 から N まで番号付けさる。占有ビットが 0 の値(FlexO インスタンスが未割り当て)の場合、値は全て 0 に設定される。

10.3.3.2 FlexO 正当化オーバーヘッド

FlexO スタッフ制御オーバーヘッド(JOH)は、GMP スタッフ制御制御オーバーヘッドを運び、図 10-15 に示されるように、全 n 個の FlexO フレームの 2、3、4、6、7、8 フレーム目のオーバーヘッドバイト 5 および 6 に位置する。これは、スタッフ制御の 2 つのグループ、すなわち JC1、JC2、JC3 と JC4、JC5、JC6 の 6 バイトから構成される。

JC1、JC2、JC3 バイトは、14 ビットの C_m(t)フィールド(ビット C1(MSB)、C2、...、C14(LSB))、1 ビットの増分指示(II)フィールド、1 ビットの減分指示(DI)フィールド、および JC1、JC2、JC3 バイトに対するエラーチェックコードを含む 8 ビットの CRC-8 フィールドで構成される。

JC4、JC5、JC6 バイトは、5 ビットの ΣC_{nd} フィールド(ビット D1、D2、...、D5)、JC4、JC5、JC6 フィールドの 6 ビット目から 8 ビット目に位置するエラーチェックコードを含む 3 ビットの CRC-3 フィールド、および将来の国際標準化のために予約された 16 ビット(RES)で構成される。

C_m の「m」の値は 256 である。

「n」は、GMP のパラメータである C_n としてタイミング精度を表するのに用いられるほか、ΣC_{nd} として

も利用される。n の値は 8 である。

C_m の値は、FlexO ペイロード内の 256 ビット GMP ブロックへの 2 つの 128 ビット OTUC データブロックのグループの分配を制御する。このプロセスのさらなる仕様については、[ITU-T G.709]の Annex D および 付属資料 B を参照。

ΣC_{nD} の値は追加の「n」ビットタイミング情報を提供し、OTUC 信号のジッターとワンダーの性能を制御するために利用される。

C_n の値(つまり、FlexO ペイロード 4 フレームマルチフレームあたりのクライアント n ビットデータエンティティの数)は次のように計算される： $C_n(t) = m/n \times C_m(t) + (\Sigma C_{nD}(t) - \Sigma C_{nD}(t-1))$ 。 C_{nD} の値は、マッパーにおける仮想的なキューに蓄積されたデータ量を示しており、そのマルチフレーム中に 256 ビットワード未満であるため送信できなかったことを示している。マルチフレーム「t」における ΣC_{nD} の値が破損している場合、次のマルチフレーム「t+1」でそのようなエラーから回復することが可能である。

10.3.4 OTUC_{n_i} を FlexO-n の n_i 個の FlexO インスタンスにマッピングする

OTUC_{n_i} 信号(ビットレートの許容誤差が最大±20ppm まで)を n_i 個の FlexO インスタンスペイロードにマッピングする処理は、汎用マッピング手順を用いて行われる。

n_i 個の FlexO ペイロードインスタンスは、OTUC_{n_i} 信号とは独立した、ローカルで生成されたクロック(表 8-3 に指定された許容値内)から生成される。

具体的には、OTUC_{n_i} の OTUC インスタンスが n_i 個の FlexO インスタンスペイロードのそれぞれの FlexO インスタンスペイロードにマッピングされる。OTUC インスタンスのビットレートは、[ITU-T G.709]の表 7-1 で指定されている OTUC_{n_i} クライアントのビットレートの 1/n_i である。

OTUC 信号は、[ITU-T G.709]の Annex D に指定されている汎用マッピング手順(GMP)を用いて、ローカルに生成された FlexO インスタンスペイロードクロックに乗せ換えられる。c_n、C_n(t)、および C_{nD}(t)における n の値は、付属資料 B で指定される。

OTUC の 32 バイト(256 ビット)ワードは、FlexO ペイロードインスタンスの 32 バイト(256 ビット)ワードにマッピングされる。

注 1：OTUC の 32 バイトワードのアライメントはマッピング処理を通じて保持される。例えば、OTUC の最初の 32 バイトの位置は、常に FlexO ペイロードインスタンス構造の開始から整数個の 32 バイトワードの後に位置する。

OTUC 信号の場合、一般的なマッピングプロセスは、[ITU-T G.709]の Annex D に従って、FlexO ペイロードインスタンスマルチフレームごとに一度、 $C_m(t)$ および $C_{nD}(t)$ 情報を生成し、この情報を FlexO ペイロードインスタンスのスタッフ制御オーバーヘッド JC1/JC2/JC3 および JC4/JC5/JC6 にエンコードする。デマッピングプロセスでは、JC1/JC2/JC3 および JC4/JC5/JC6 から $C_m(t)$ および $C_{nD}(t)$ をデコードし、付属資料 B に従って $C_m(t)$ および $C_{nD}(t)$ 情報を抽出する。CRC-8 は、JC1、JC2、JC3 信号の 1 ビット目から 8 ビット目のエラーに対する保護に使用される。CRC-3 は、JC4、JC5、JC6 信号の 6 ビット目から 8 ビット目のエラーに対する保護に使用される。

OTUC_{n_i} 信号が信号故障状態にある場合、この故障を受けた入力信号には、[ITU-T G.709]の 16.4.2 項で指定されている OTUC_{n_i}-AIS 信号が含まれる。この OTUC_{n_i}-AIS は、その後 n_i 個の FlexO インスタンスペイロードにマッピングされる。

OTUC の 32 バイトワードは、FlexO ペイロードインスタンスの 32 バイトブロックからデマッピングされる。

OTUC_{n_i} クライアントを FlexO-n_i ペイロード領域にマッピングするための GMP パラメータ m、C_{m,nom}、C_{m,min}、C_{m,max}、n、C_{n,nom}、C_{n,min}、C_{n,max} の方程式と値は、付表 B-1 に記載されている。

10.3.4.1 OTUC を FlexO インスタンスペイロードにマッピングする

OTUC 信号の 32 バイト/256 ビットワードのグループは、GMP データ/スタッフ制御メカニズムの制御下で、FlexO インスタンスペイロード領域の 32 バイトブロックにマッピングされる。FlexO インスタンスペイロード領域の各 32 バイトブロックは、OTUC の 32 バイトワードまたはスタッフの 32 バイトワードのいずれかを収容する。スタッフバイトの値は全て 0 に設定される。

FlexO インスタンスペイロード領域の 32 バイトブロックは 1 から 10260 まで番号付けされる。

GMP の 32 バイト(m ビット)ブロックのための FlexO インスタンスペイロードの 32 バイト番号付けを図 10-12 および図 10-13 に示す。

10.4 FlexO-n グループのアライメントとデスクュー

10.4.1 OTUCn クライアントのアライメントとデスクュー

FlexO メンバは、FlexO-n グループ内で識別され、GID、MAP、IID FlexO BOH フィールドを使用して並べ替えられる。

[ITU-T G.709]で指定された OTUC FAS を使用し、10.1 節および 10.3 節で定義された OTUCn の BMP および GMP マッピングにおいて、シンクプロセスでのデスクューはグループ内の OTUC フレーム間で実行される。

OTUC フレームのスキューは、デジタルマッピングおよびケーブル長による変動を考慮することを要件としている。スキュー許容に関する要件は、[ITU-T G.709.3]、[ITU-T G.709.5]、および[ITU-T G.709.6]で指定されている。

FlexO-n 信号が信号故障状態にある場合、または OTUCn のデスクューイングに失敗した場合、失われた OTUCn 信号の代替信号として、[ITU-T G.709]の 16.4.2 項で指定されている OTUCn-AIS パターンが生成される。

10.5 FlexO ペイロード PRBS テストパターン

FlexO フレームに収容された PRBS テストパターンは、リンクおよび再生装置を通じて FlexO-x(e)-<int>インタフェースを検証するために使用される。必要な PRBS31 は[IEEE 802.3]に準拠し、生成器の初期状態は全て 1 である(図 10-16 参照)。

- PRBS パターンは、FlexO インスタンスごとに挿入され、FlexO-x(e)-<int>インタフェース上の全インスタンスに複製される。
- PRBS パターンは、表 9-1 に示されるように、一意のペイロードタイプ識別子によって識別される。
- ソースにおいて、PRBS は図 8-1 に示されるペイロード領域全体に挿入される。マッピング手順によって使用されるスタッフィングまたはパディングは、PRBS 使用時には無視(上書き)される。
- シンクにおいて、PRBS は FlexO ペイロード領域から抽出され、モニタされる。PRBS チェッカーは、PRBS31 シーケンスを復元し、検証する。

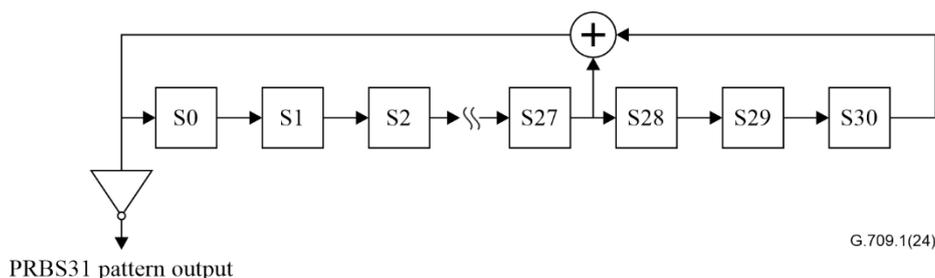


図 10-16/JT-G709.1 FlexO PRBS
(ITU-T G.709.1)

10.5.1 クライアントマッピング固有のオーバーヘッド

図 9-2 に示されるクライアントマッピング固有のオーバーヘッドは、PRBS テストパターンには使用されず、予約されている。

付属資料 A FlexOsec 暗号化と認証

(本付属資料は標準の一部である。)

本付属資料では、固定長の FlexO フレーム構造の暗号化と認証について規定している。これには、異なる暗号スイートタイプ(プロファイル)に対する具体的な認証および暗号化プロセスの詳細が含まれている。

暗号スイートタイプとは、暗号化アルゴリズムの相互接続可能な仕様であり、それらのアルゴリズムによって使用されるパラメータ(例えば、キーサイズ)の値を指す。FlexOsec によって要求される暗号化機能を暗号スイートタイプの観点から規定することで、明確なデフォルト状態と限られた数の代替案を提供し、相互接続性を向上させる。

A.1 GCM-AES-256 フレームペイロード暗号化

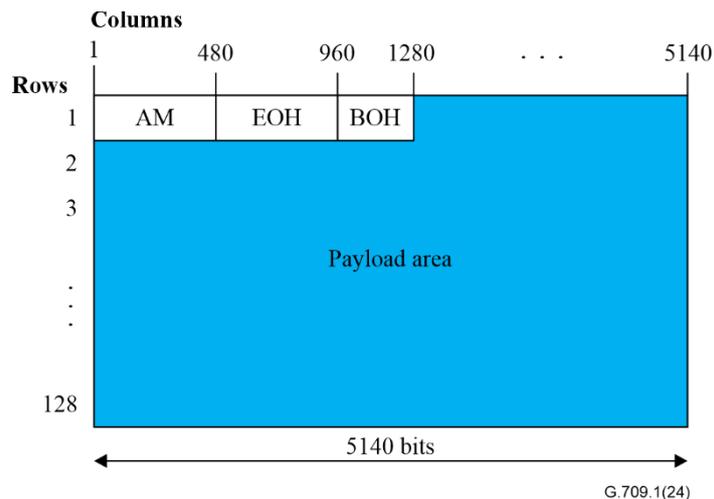
GCM-AES-256 暗号スイートは、表 9-3 に示されているように、CST の値が 000001 に対応している。このプロファイルは、[NIST SP 800-38D]で定義された暗号化アルゴリズムとプロセスに基づいている。

この暗号スイートタイプでは、付図 A-1 に示されるように、FlexO フレームのペイロードが機密性を保つために暗号化される。FlexO フレームのペイロードは、BOH および EOH の一部と共に、付図 A-2 に示されるように、完全性を保証するために認証される。

FlexOsec スキームでは、機密性と完全性は、FlexO インスタンスごとに個別に適用される。本付属資料で議論されているフレームフォーマットは、FEC 適応および FlexO-x インタフェースのインターリーブ処理を施す前のものである。

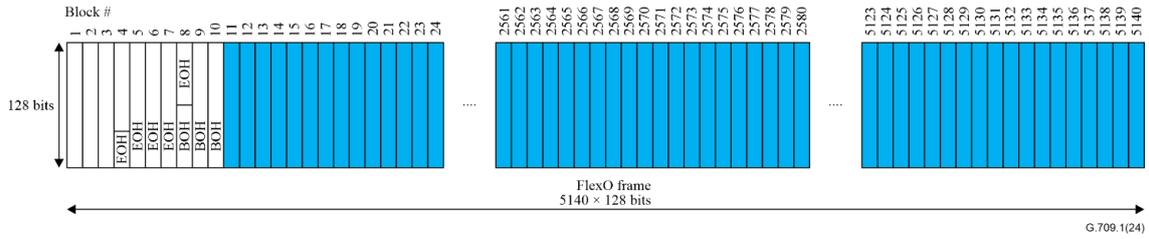
A.1.1 GCM-AES-256 機密性(暗号化)

インタフェース上で機密性が要求される場合、付図 A-1 に示されているように、FlexO フレームペイロード領域のビットは送信前に暗号化される。これらのビットは FlexO フレームペイロード領域に対応しており、AM、EOH、BOH フィールドは含まれていない。FlexOsec の適用を目的として、FlexO フレーム構造は 5140×128 ビットの固定長ブロックとして表現される。128 ビットブロックを使用した代替の表現は付図 A-2 に示されている。



G.709.1(24)

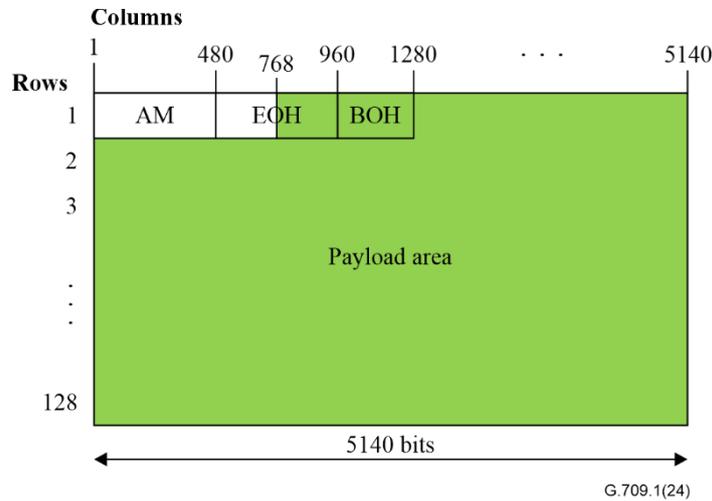
付図 A-1/JT-G709.1 FlexO フレーム暗号化
(ITU-T G.709.1)



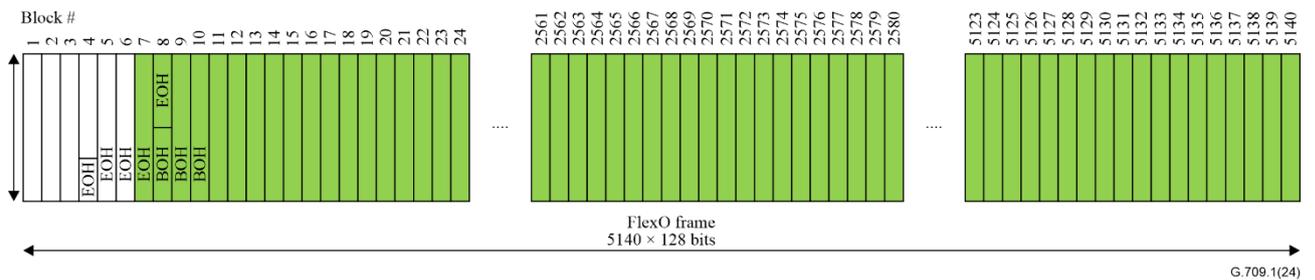
付図 A-2/JT-G709.1 FlexO フレーム暗号化(128 ビット表現)
(ITU-T G.709.1)

A.1.2 GCM-AES-256 完全性(認証)

インタフェース上の情報の完全性が要求される場合、付図 A-3 に示されるように、FlexO フレームペイロード領域、BOH、および EOH の一部のビットは送信前に認証される。128 ビットブロックを使用した代替の表現は付図 A-4 に示されている。認証は EOH 内の 769 ビット目(7 番目の 128 ビットワードに相当)から始まり、フレームの最後まで続く。

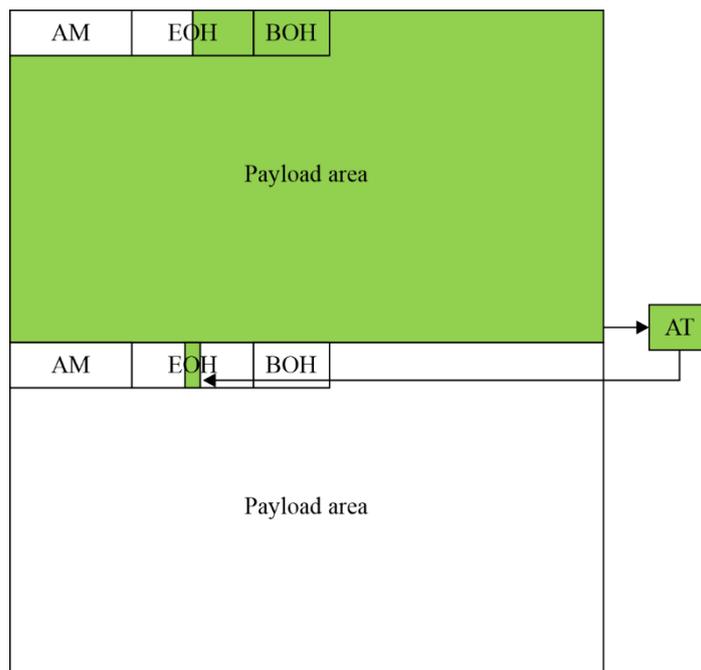


付図 A-3/JT-G709.1 FlexO フレーム認証
(ITU-T G.709.1)



付図 A-4/JT-G709.1 FlexO フレーム認証(128 ビット表現)
(ITU-T G.709.1)

認証タグ(AT)は、FlexO インスタンス# のフレーム#j からの 128 ビットワードを使用し、A.1.2 項で指定されたアルゴリズムによって生成される。その後、認証タグは FlexO インスタンス# の次のフレーム#j+1 の EOH に挿入される。認証タグは、FlexO インスタンスごとにユニークである。



G.709.1(24)

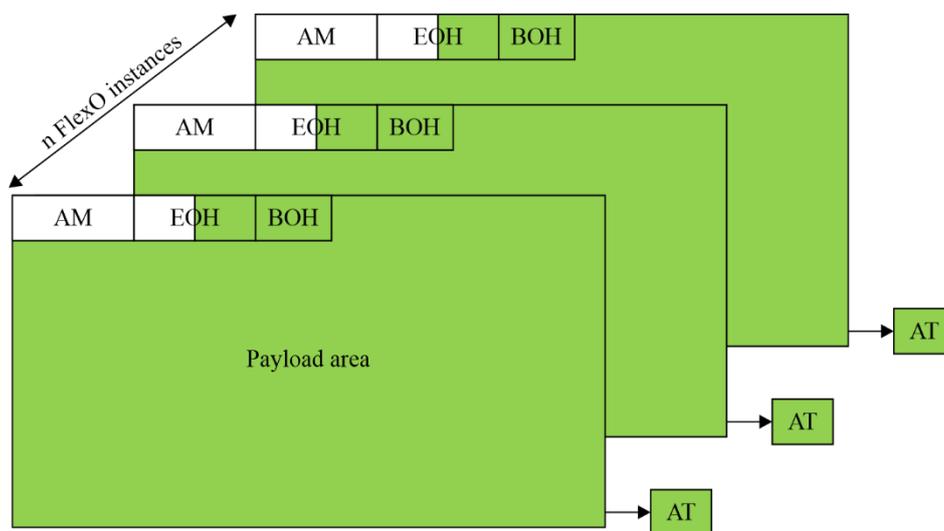
付図 A-5/JT-G709.1 FlexO AT 挿入
(ITU-T G.709.1)

プロセスフローにおいて、FlexOsec のオーバーヘッドのいくつかの値は、ソース機能での AT 計算(アルゴリズム)の後に挿入され、シンク機能ではその計算の前に挿入される。AT アルゴリズムにおいては、いくつかの OH 値が全て 0 として扱われ、これらは下記の付表 A-1 に示されている。

付表 A-1/JT-G709.1 FlexOsec OH AT calculation
(ITU-T G.709.1)

FlexOsec OH field	Tag calculation	Note
Authentication tag (AT)	Not part of tag calculation	
Frame number (FN)	Use FN value	
Key index (KI)	Use KI value	
Cipher suite type (CST)	Use CST value	
KCC	All-0s	KCC inserted after tag calculation
Reserved (RES)	All-0s	

現在のフレーム(n)の AT の値が次のフレーム(n+1)に表示されるため、完全性チェック(認証失敗)に失敗したフレームを破棄する一部のアプリケーションでは、FlexO フレームのバッファリングがオプションとして必要になる場合がある。個々のフレームは、オプションとして、付図 A-3 に示されるように認証でカバーされる領域を 0x04 バイトの繰り返しパターンである SquelchText に置き換えることが可能である。



G.709.1(24)

付図 A-6/JT-G709.1 インスタンスごとの FlexO 処理
(ITU-T G.709.1)

A.1.3 IV の構築

この暗号スイートタイプの 96 ビット初期ベクトルは、[NIST SP 800-38D]の 8.2.1 項で定義された決定論的な方法に基づいている。96 ビットのデフォルト IV 長の相互接続性を促進するために、IV の先頭(つまり、左端)の 32 ビットにはユーザが設定可能な固定識別子が格納され、末尾(つまり、右端)の 64 ビットには呼び出しフィールドが格納され、これはフレーム番号(FN)を意味する。

注：この項で述べられている構築方法は、[NIST SP 800-38D]の 8.3 節で指定されている呼び出し回数の総要件を満たしている。

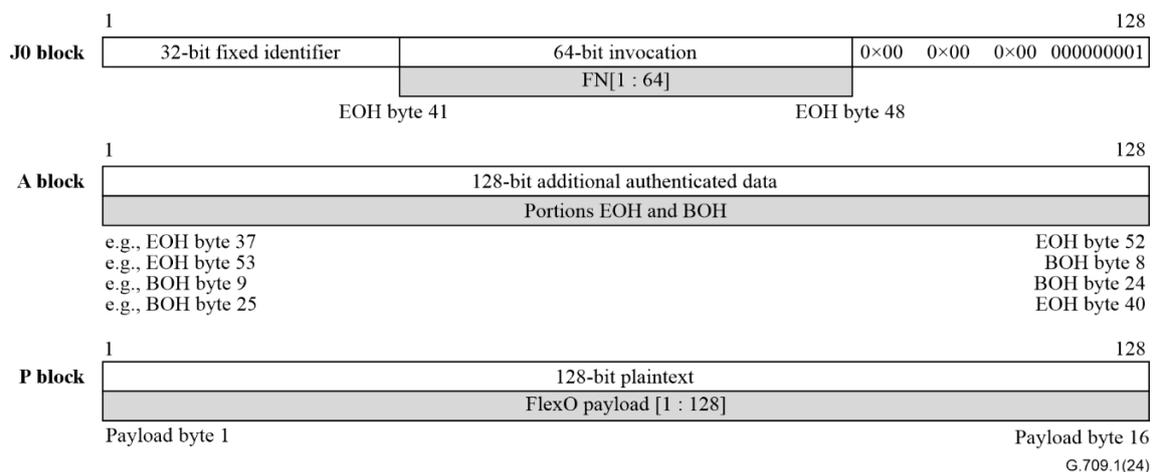
A.1.4 GCM-AES-256 アルゴリズム

この暗号スイートタイプの認証付き暗号化および認証付き復号アルゴリズムは、[NIST SP 800-38D]の 7 章に定められた GCM 仕様に基づいている。これらは、認証付き暗号化機能と認証付き復号機能のアルゴリズム 4 および 5 としてそれぞれ参照されている。仕様には、入力、出力、アルゴリズムの手順、図表、および要約が含まれている。GCM-AES-256 のパラメータは、下記の付表 A-2 に記載されている。

付表 A-2/JT-G709.1 GCM-AES-256 パラメータ
(ITU-T G.709.1)

Parameter	Name	Length
C	CipherText	656640 bits (5130 × 128 bits)
P	PlainText	656640 bits (5130 × 128 bits)
A	Additional authenticated data	512 bits (4 × 128 bits)
T	Authentication tag (referred to as AT in recommendation)	128 bits
K	Key	256 bits
IV	Initial vector	96 bits

付図 A-7 は、FlexO フレームのビットがそれぞれの暗号化アルゴリズムによってどのように処理されるかを示している。NIST の認証付き暗号化アルゴリズム(アルゴリズム 4 として参照)には、J0、AAD、および P(平文)の 3 つの入力がある。図において、最初に送信されるビットは最も左側にあるビットである。



G.709.1(24)

**付図 A-7/JT-G709.1 FlexOsec ビット順序
(ITU-T G.709.1)**

付属資料 B FlexO-n(e)における汎用マッピング手順の原則の適用

(本付属資料は標準の一部である。)

本付属資料は、[ITU-T G.709]の Annex D を FlexO 特有の観点を加えて補完している。クライアントが FlexO-n(e)ペイロードにマッピングされる場合の FlexO ケース内での GMP(汎用マッピング手順)の適用原則を示している。

B.1 FlexO-n(e)における GMP の適用

10.2 節と 10.3 節では、イーサネットおよび OTN クライアント信号を FlexO-n(e)にマッピングするための非同期汎用マッピング方法として GMP を指定している。非同期マッピングには、付表 B-1 に示すようにタイミング粒度 n がある。

B.1.1 マッピングの粒度

257y ビット粒度のマッピング

10.2 節では、イーサネットビットを FlexO-ne のペイロードにマッピングする際に、 $257 \times y$ ビット($257y$ ビット)の粒度で行うことが規定されている。ここで y は、クライアント信号によって占められる FlexO ペイロードインスタンスの数を指し、表 D.1 で示されている。[ITU-T G.709]の D.2 節で議論される m の値は $257 \times y$ となる。残りの $C_{nD}(t)$ データエンティティは、追加のタイミング/位相情報としてスタッフオーバーヘッドにて示される。

対応する c_m 、 $C_m(t)$ 、 c_{nD} 、 $C_{nD}(t)$ の値は、[ITU-T G.709]の方程式 D-12 から D-15 を用いて計算され、ここで m は $257 \times y$ となる。

FlexO の $257y$ ビット粒度は、B.1.2.1 項で説明される 14 ビットの $C_m(t)$ を使用し、それに対応する 5 ビットの $\Sigma C_{nD}(t)$ は B.1.3.1 項で説明される。

256n_i ビット/32n_i バイト粒度のマッピング

10.3 節では、OTUC_{n_i} ビットを n_i 個の FlexO インスタンスのペイロードにマッピングする際に、OTUC/FlexO インスタンスごとに 256 ビット(32 バイト)の粒度で行うことが規定されている。これは付表 B-1 で示されている。[ITU-T G.709]の D.2 節で議論される m の値は 256 となる。残りの $C_{nD}(t)$ データエンティティは、追加のタイミング/位相情報として正当化オーバーヘッドにて示される。

対応する c_m 、 $C_m(t)$ 、 c_{nD} 、 $C_{nD}(t)$ の値は、[ITU-T G.709]の方程式 D-12 から D-15 を用いて計算され、ここで m は 256 となる。

FlexO の $32n_i$ バイト粒度は、D.3.2.2 項で説明される 14 ビットの $C_m(t)$ を使用し、それに対応する 5 ビットの $\Sigma C_{nD}(t)$ は D.3.3.2 項で説明される。

FlexO サーバーの GMP パラメータの値

n 、 m 、 f_{client} 、 f_{server} 、 T_{server} 、 B_{server} 、 O_{server} 、 P_{server} 、 $f_{n,server}$ 、 $P_{n,server}$ 、 $P_{m,server}$ 、および ΣC_{nD} の値は、付表 B-1 で指定されている。

付表B-1/JT-G709.1 FlexO-n(e) GMPパラメータ
(ITU-T G.709.1)

GMP parameter	Equations	y00GBASE-R into y FlexO payload instances of a FlexO-ne	OTUC into FlexO instance payload
n		$y \times 8.03125$ 100GBASE-R: $8.03125 \times 1 = 8.03125$ 200GBASE-R: $8.03125 \times 2 = 16.0625$ 400GBASE-R: $8.03125 \times 4 = 32.125$ 800GBASE-R: $8.03125 \times 8 = 64.25$	8
m		$m = 257 \times y$ 100GBASE-R: $257 \times 1 = 257$ 200GBASE-R: $257 \times 2 = 514$ 400GBASE-R: $257 \times 4 = 1028$ 800GBASE-R: $257 \times 8 = 2056$	$m = 256$
f_{client}		Ethernet nominal bit rate (Table 10-2) 100GBASE-R: 100 384 497 642.517 bit/s 200GBASE-R: $2 \times 100\ 385\ 723\ 114.014$ bit/s 400GBASE-R: $4 \times 100\ 385\ 723\ 114.014$ bit/s 800GBASE-R: $8 \times 100\ 385\ 723\ 114.014$ bit/s	OTUC nominal bit rate ($1/n_i \times$ OTUC n_i bit rate specified Table 7-1 [ITU-T G.709]) 105 258 138 053.097 bit/s
$f_{client_tolerance}$		Ethernet tolerance (Table 10-2) 100GBASE-R: 100 ppm 200GBASE-R: 100 ppm 400GBASE-R: 100 ppm 800GBASE-R: 50 ppm	OTUC n_i tolerance (Table 7-1 of [ITU-T G.709]) 20 ppm
f_{server}		FlexO-ne nominal bit rate (Table 8-1) $y \times 100\ 622\ 438\ 327.432$ bit/s	FlexO nominal bit rate (Table 8-1) 105 643 510 782.118
$f_{server_tolerance}$		FlexO-ne tolerance (Table 8-1) 20 ppm	FlexO tolerance (Table 8-1) 20 ppm
T_{server}		FlexO-ne 4-frame period (Table 8-2) ~26.155 μ s	FlexO 4-frame period (Table 8-2) ~24.911 μ s
B_{server}		$y \times 10240 \times 257$ bits = $y \times 2\ 631\ 680$ bits	10280×256 bits = 2 631 680 bits
O_{server}		$y \times 20 \times 257$ bits = $y \times 5140$ bits	20×256 bits = 5120 bits
$P_{server} = P_{n,server}$		10220×257 bits / 8.03125 = $10220 \times 32 = 327\ 040$ n-bits	10260×256 bits / $n = 10260 \times 32 = 328\ 320$ n-bits
$f_{p,server}$		$y \times$ FlexO payload instances bit rate and tolerance (Table 10-1) $y \times 100\ 425\ 910\ 127.574$ bit/s	FlexO payload bit rate and tolerance (Table 10-5) 105 437 978 659.973 bit/s
$P_{m,server}$		10220 m-bits	10260 m-bits
ΣC_{nD} range		0 to +31	0 to +31

付表B-1/JT-G709.1 FlexO-n(e) GMPパラメータ
(ITU-T G.709.1)

GMP parameter	Equations	y00GBASE-R into y FlexO payload instances of a FlexO-ne	OTUC into FlexO instance payload
$C_{m,nom}$	$C_{m,nom} = \left(\frac{f_{client,nom} \times P_{m,server}}{fp_{server,nom}} \right)$	100GBASE-R: 10 215.785 y00GBASE-R: 10 215.910 (y = 2,4,8)	10242.5
$C_{m,min}$ (注)	$C_{m,min} = C_{m,nom} \times \left(\frac{1 - f_{client, tolerance}}{1 + fp_{server, tolerance}} \right)$ $C_{m,min} = \lfloor C_{m,min} \rfloor$	100GBASE-R: 10 214.559 y00GBASE-R: 10 214.684 (y = 2,4) 800GBASE-R: 10 215.195	10 242.090
$C_{m,max}$ (注)	$C_{m,max} = C_{m,nom} \times \left(\frac{1 + f_{client, tolerance}}{1 - fp_{server, tolerance}} \right)$ $C_{m,max} = \lceil C_{m,max} \rceil$	100GBASE-R: 10 217.011 y00GBASE-R: 10 217.136 (y = 2,4) 800GBASE-R: 10 216.625	10 242.910
$C_{n,nom}$	$C_{n,nom} = \left(\frac{f_{client,nom} \times P_{n,server}}{fp_{server,nom}} \right)$	100GBASE-R: 326 905.139 y00GBASE-R: 326 909.130 (y = 2,4,8)	327 760
$C_{n,min}$ (注)	$C_{n,min} = C_{n,nom} \times \left(\frac{1 - f_{client, tolerance}}{1 + fp_{server, tolerance}} \right)$ $C_{n,min} = \lfloor C_{n,min} \rfloor$	100GBASE-R: 326 865.9111 y00GBASE-R: 326 869.902 (y = 2,4) 800GBASE-R: 326 886.247	327 746.890
$C_{n,max}$ (注)	$C_{n,max} = C_{n,nom} \times \left(\frac{1 + f_{client, tolerance}}{1 - fp_{server, tolerance}} \right)$ $C_{n,max} = \lceil C_{n,max} \rceil$	100GBASE-R: 326 944.368 y00GBASE-R: 326 948.360 (y = 2,4) 800GBASE-R: 327 773.111	327 773.111

注： $C_{m,min}$ 、 $C_{n,min}$ 、 $C_{m,max}$ 、および $C_{n,max}$ の値は、クライアントとサーバーのペイロードppmオフセットの組み合わせの境界を表す(つまり、最小クライアント/最大ペイロードと最大クライアント/最小ペイロード)。定常状態では、クライアントとサーバーのペイロード オフセットの組み合わせの特定のインスタンスは、この範囲全体にわたって C_m 値と C_n 値を生成するのではなく、可能な限り小さい範囲内に収まる必要がある。

過渡的なppmオフセット条件 (置換信号から通常信号など) では、 $C_{n,min}$ から $C_{n,max}$ および $C_{m,min}$ から $C_{m,max}$ の範囲外の C_n 値と C_m 値が生成される可能性があり、GMPデマッパーはそのような発生を許容する必要がある。

B.1.2 FlexO $C_m(t)$ の符号化と復号化

$C_m(t)$ は、14 ビットカウントに対して 10.2.3 項および 10.3.3 項で指定されている FlexOn.ts の正当化制御バイト JC1、JC2、JC3 に符号化される。

B.1.2.1 FlexO-ne および FlexO-n のための FlexO $C_m(t)$ の符号化と復号化

FlexO-n(e)のための $C_m(t)$ をバイト JC1 および JC2 に符号化する方法は、付表 B-2 の 14 ビットカウントフィールドを用いて定義されている。表内の「I」エントリは該当するビットが反転されることを示している。JC3 に含まれる CRC-8 は、送信された $C_m(t)$ 値が正確に受信されたかを検証するために使用される。

付表 B-2/JT-G709.1 14 ビット C_m(t)増分および減分インジケータパターン
(ITU-T G.709.1)

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	II	DI	Change
U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	0	0	0
I	U	I	U	I	U	I	U	I	U	I	U	I	U	1	0	+1
U	I	U	I	U	I	U	I	U	I	U	I	U	I	0	1	-1
U	I	I	U	U	I	I	U	U	I	I	U	U	I	1	0	+2
I	U	U	I	I	U	U	I	I	U	U	I	I	U	0	1	-2
binary value														1	1	More than +2/-2
注: - I は反転された C _j ビットを示す - U は変更されていない C _j ビットを示す																

JC3に位置するCRC-8は、JC1およびJC2のビットから計算される。CRC-8では生成多項式 $g(x) = x^8 + x^3 + x^2 + 1$ が使用され、以下の手順に従って計算される。

- 1) JC1 および JC2 のオクテットは、ネットワークバイトオーダー(最上位ビットから)で取り出され、15次の多項式 $M(x)$ の係数を表す16ビットパターンを形成する。
- 2) $M(x)$ に x^8 を乗算し、 $G(x)$ でモジュロ2の除算を行い、7次以下の剰余 $R(x)$ が得られる。
- 3) $R(x)$ の係数は x^7 を最上位ビットとする8ビットのシーケンスとして扱われる。
- 4) この8ビットシーケンスがCRC-8であり、送信されるCRC-8の最初のビットは x^7 の係数、最後に送信されるビットは x^0 の係数になる。

デマッパー処理は、マッパー処理と同様にステップ1から3を実行するが、こちらではステップ1での $M(x)$ 多項式にJC3のCRCビットが含まれるため、結果として $M(x)$ は23次の多項式となる。ビットエラーがなければ、剰余は0000 0000である。

付表B-2での14ビット $C_m(t)$ 符号化に関連したソースCRC-8の並列論理実装は、[ITU-T G.709]のAppendix VIに図示されている。

[ITU-T G.709]の図D.7は、14ビット $C_m(t)$ に対するGMPシンク同期に使用される。フレーム i で $II \neq DI$ である場合、Hunt状態はIIおよびDIビットの値とフレーム i のカウントLSB(C14)に基づいて決定される。フレーム $i+1$ が受信されると、[ITU-T G.709]の図D.7の同期状態マシン「S」状態の解釈は付表B-3で規定される。

付表 B-3/JT-G709.1 14 ビット C_m を使用した「S」状態の解釈([ITU-T G.709]の図 D.7 参照)
(ITU-T G.709.1)

S state	Interpretation/Action
S+2	C2, C3, C6, C7, C10, C11, C14を反転後、Count = C1-C14とする。次のフレームでは2加算する。
S+1	C1, C3, C5, C7, C9, C11, C13を反転後、Count = C1-C14とする。次のフレームでは1加算する。
S-1	C2, C4, C6, C8, C10, C12, C14を反転後、Count = C1-C14とする。次のフレームでは1減算する。
S-2	C1, C4, C5, C8, C9, C12, C13を反転後、Count = C1-C14とする。次のフレームでは2減算する。

同期が取れているとき、GMPシンクは更新された $C_m(t)$ の値を利用して、[ITU-T G.709]のD.2.2項で説明されている通り、次のFlexO-n支線ユニットフレームからクライアントデータを抽出する。このプロセスでは、受信したJCオクテットを付表B-2の反転パターンに基づいて解釈する。

B.1.3 FlexO $\Sigma C_{nd}(t)$ の符号化と複合化

B.1.3.1 FlexO-n(e)の $\Sigma C_{nd}(t)$ 符号化と復号化

$C_{nd}(t)$ の累積値($\Sigma C_{nd}(t)$)は、FlexOの正当化制御バイト JC4、JC5、JC6の第4ビットから第8ビットに符号化される。JC4およびJC5のD1からD10ビットが $\Sigma C_{nd}(t)$ の値を保持する。D1ビットが最上位ビットであり、D10ビットが最下位ビットである。

CRC-3は、JC4およびJC5の6～8ビットに対して計算される。CRC-3では、生成多項式 $g(x) = x^3 + x^2 + 1$ が使用され、以下の手順に従って計算される。

- 1) JC4の6～8ビットおよびJC5の6～8ビットは、ネットワーク伝送順序で取り出され、最上位ビットから始めて、5次の多項式 $M(x)$ の係数を表す6ビットのパターンを形成する。
- 2) $M(x)$ に x^3 を乗算し、 $G(x)$ でモジュロ2の除算を行い、2次以下の剰余 $R(x)$ が得られる。
- 3) $R(x)$ の係数は、 x^2 を最上位ビットとする3ビットのシーケンスとして扱われる。
- 4) この3ビットのシーケンスがCRC-3であり、送信されるCRC-3の最初のビットは x^2 の係数、最後に送信されるビットは x^0 の係数になる。

デマッパー処理は、マッパー処理と同様にステップ1から3を実行する。ビットエラーがなければ、剰余は000である。

注：CRC-3の並列論理実装に関しては、[ITU-T G.7044]の6.2.8項を参照されたい。RCOH1およびRCOH2の1-3ビットをJC4およびJC5の6-8ビットに置き換える。

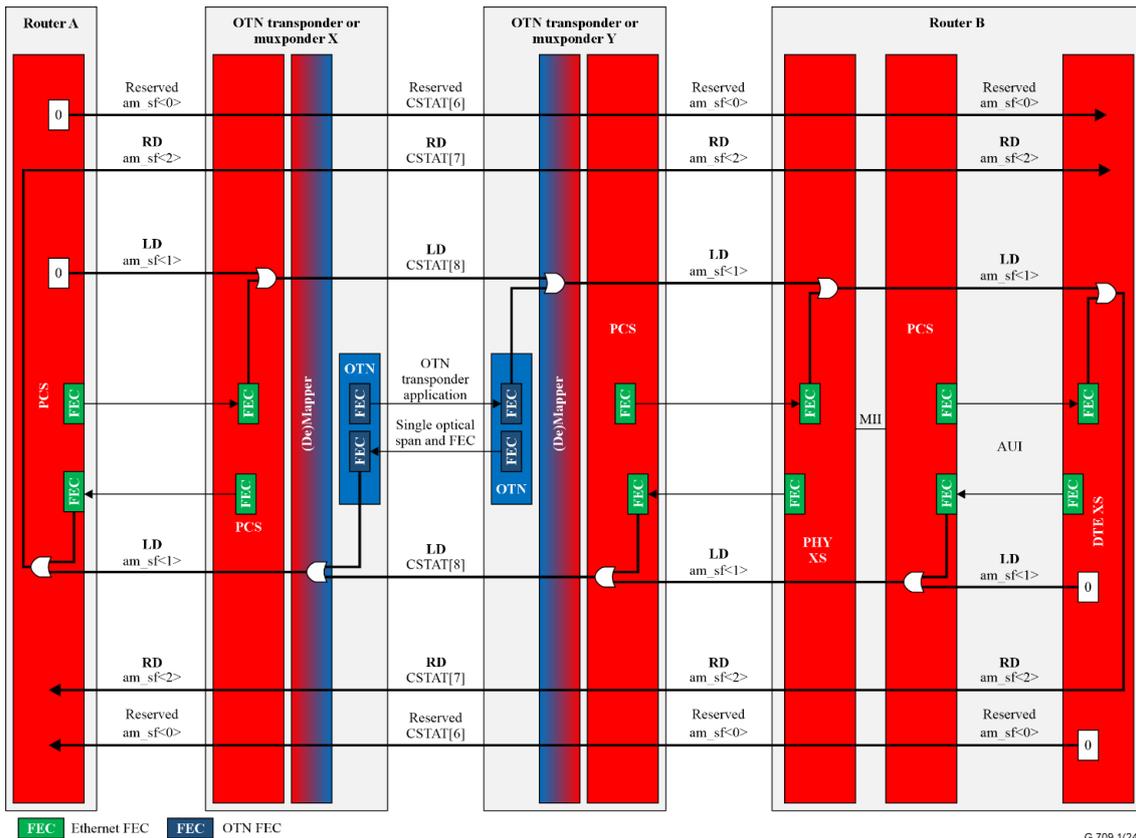
付属資料 C イーサネットクライアントのトランスポートおよび再生におけるローカル劣化とリモート劣化

(本付属資料は標準の一部である。)

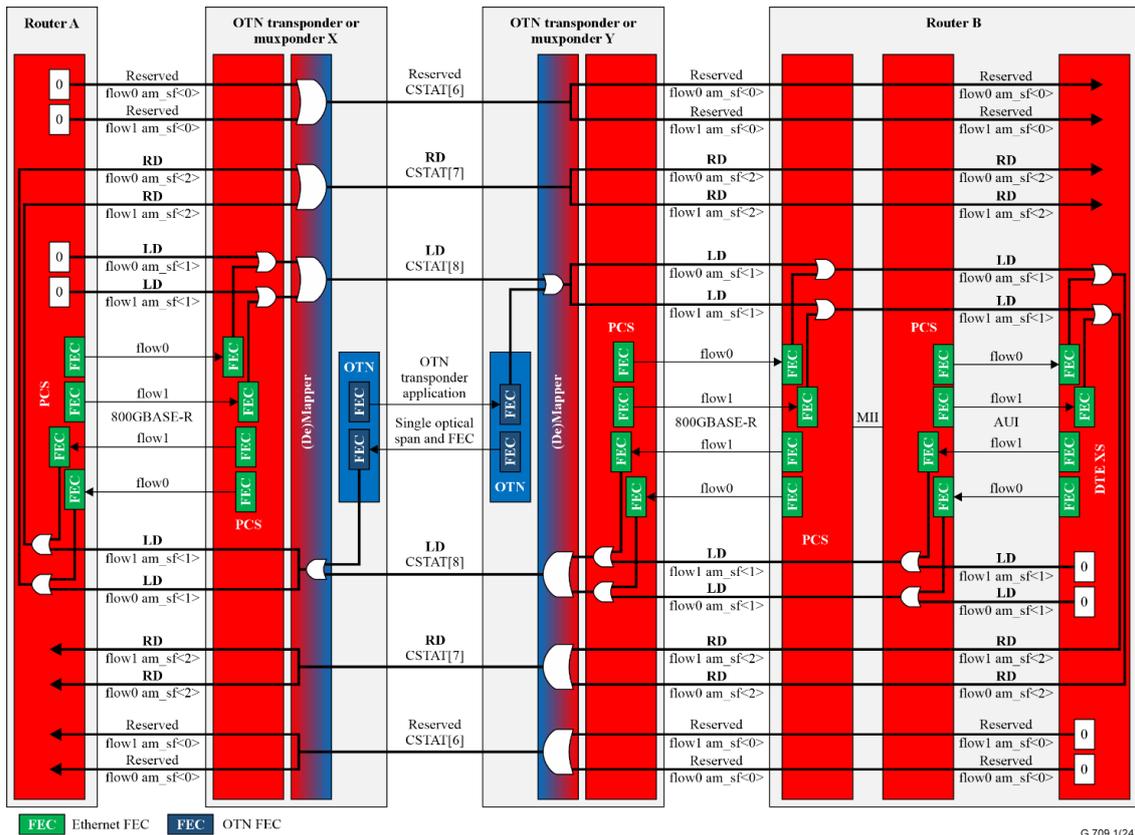
C.1 イーサネットクライアント CSTAT LD/RD

IP ルータは、「ソフトリルート」という機能をサポートしていることがある。これは、光リンク上で FEC エラーの数が増加した場合に、IP トラフィックをその光リンクから遠ざけるように指示する。[IEEE 802.3] に準拠した 200G、400G、800G ビット/秒のイーサネットインタフェースは、この機能をサポートすることができる。このアプリケーションについては、[ITU-T G.709] の Annex K でより詳細に説明されている。

[IEEE 802.3]では、この機能をサポートするために、アライメントマーカー領域の 3 ビット(am_sf<2:0>)にリンク状態情報を運ぶことを指定している。ビット am_sf<2>はリモート劣化(RD)信号として、ビット am_sf<1>はローカル劣化(LD)信号として定義され、ビット am_sf<0>は予約されている。800G イーサネットの場合、am_sf<2:0>ビットはそれぞれ複製され、2つの 400G PCS ストリーム(フロー0 およびフロー1)のアライメントマーカー領域に存在する。付図 C-1 および付図 C-2 の両方で、ルータ B にはオプションのエクステンダサブレイヤ(XS)が含まれており、これは PHY XS が AUI を介して DTE XS に接続されていることに注意が必要である。



付図 C-1/JT-G709.1 200G/400G Ethernet 用ルータと OTN マルチポнда/トランスポнда間のローカル/リモート劣化のインターワーク (ITU-T G.709.1)



付図 C-2/JT-G709.1 800G Ethernet 用ルータと OTN マルチポンド/トランスポンド間のローカル/リモート劣化のインターワーク (ITU-T G.709.1)

200GE および 400GE の使用例は付図 C-1 で、800GE の使用例は付図 C-2 で示されている。OTN のマルチポンド/トランスポンド X および Y は、入力側と出力側のマルチポンド/トランスポンド間で、予約済み (am_sf<0>) および RD(am_sf<2>) ビットの情報を転送することができる。付図 C-2 に示されている 800G イーサネットクライアントのマッピングでは、クライアントインタフェースに存在する 2 つの 400G PCS ストリーム(フロー0 およびフロー1)から抽出された 2 セットの am_sf<2:0> ビット値を OR 演算し、さらなる処理のための単一セットの am_sf<2:0> を形成する。これらの図はクライアントと CSTAT フィールドの例を示しているが、マルチポンドの設計では複数のクライアントを持つことがあり、一方でトランスポンドは単一のクライアントを有する。am_sf の情報は、対応するフィールドを使用して CSTAT FlexO のオーバーヘッドで運ばれる。追加の処理には、入力側トランスポンド(X)におけるローカルイーサネット事前 FEC BER によるリンク劣化状態と 200GE、400GE、800GE の各信号の am_sf<1> ビットにおける LD ステータスの OR 演算が含まれる。出力側トランスポンド(Y)における追加処理には、FlexO 信号の CSTAT オーバーヘッドビットにおける LD ステータスと、トランスポンドのローカル OTN 事前 FEC BER によるリンク劣化状態(詳細は[ITU-T G.798]参照)の OR 演算が含まれる。その結果の LD ステータスは、200GE、400GE、800GE の各信号の am_sf<1> ビットで運ばれる。800G ビット/秒のイーサネット信号の場合、OTN デマッピングプロセスによって生成された単一セットの am_sf<2:0> ビット値は、クライアントインタフェースにおいて、両方の 400G フロー(フロー0 およびフロー1)向けに複製され、それぞれのアライメントマーカーのセットで運ばれる。

C.2 イーサネットクライアント CSTAT および再生 RSTAT LD/RD

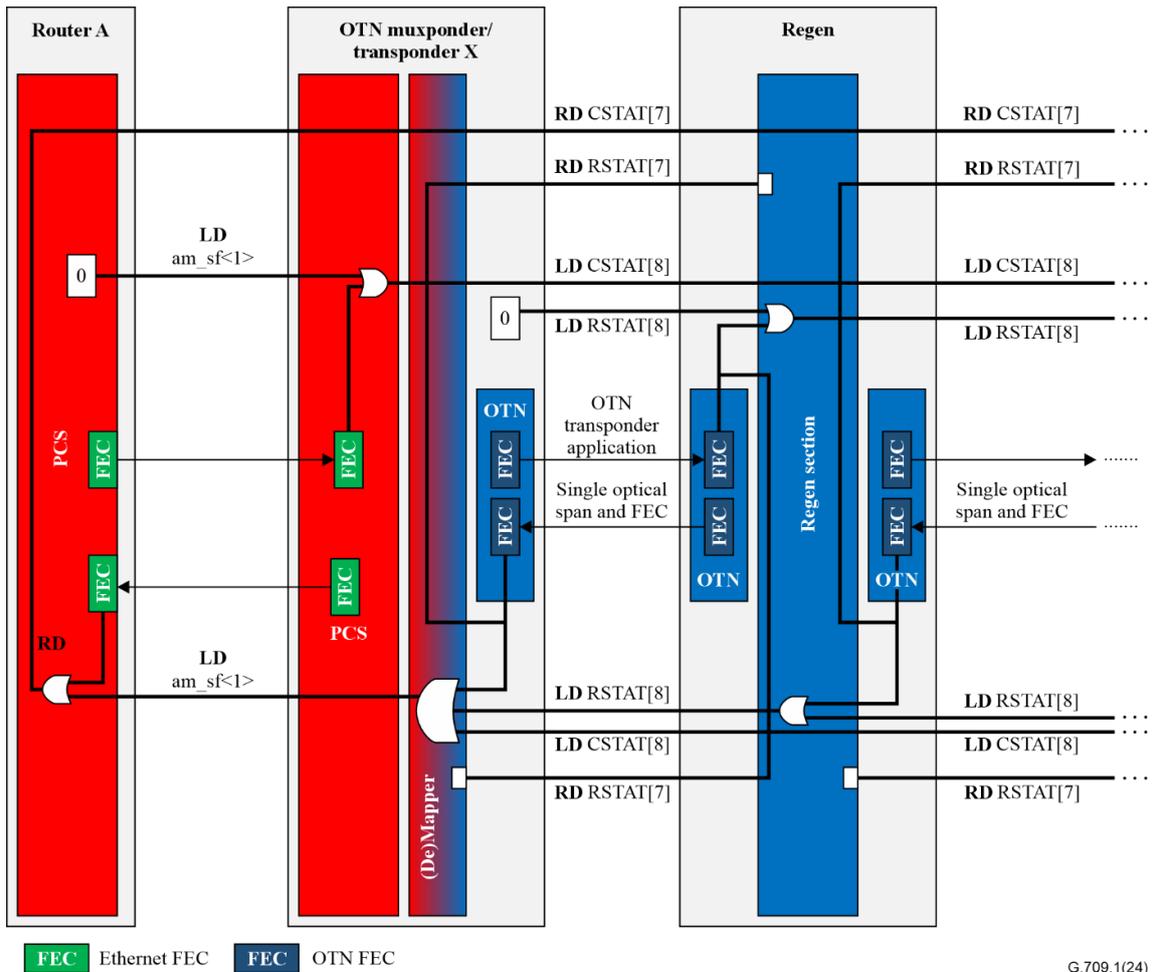
RSTAT フィールドには LD/RD ステータスビットも含まれており、その使用例が付図 C-3 で示されている。OTN マルチポンド/トランスポンド X が再生ノードに接続されている。再生ノードでは、受信した RSTAT[8] の LD が OTN 事前 FEC BER リンク劣化ステータスと OR 演算される。

逆方向では、マルチプレクサトランスポンド X が FlexO セクションを終端し、イーサネットクライアン

トのデマッピングを行う。受信した RSTAT[8] LD、受信した CSTAT[8] LD、および OTN 事前 FEC BER リンク劣化ステータスが OR 演算され、C.1 節で説明されている通り、イーサネットクライアント am_sf<1> フィールドが生成される。

RSTAT[7] RD フィールドは単一の再生スパンでのみ使用される。付図 C-3 に示されているように、事前 FEC OTN リンク劣化が検出されると、逆方向でアサートされる。

クライアントイーサネット CSTAT LD/RD は、FlexO 再生セクションに対して完全に透過的である。明確化のため、付図 C-3 では CSTAT[7] RD 信号およびそれに対応するイーサネットクライアント RD am_sf<2> 信号は示されていない。

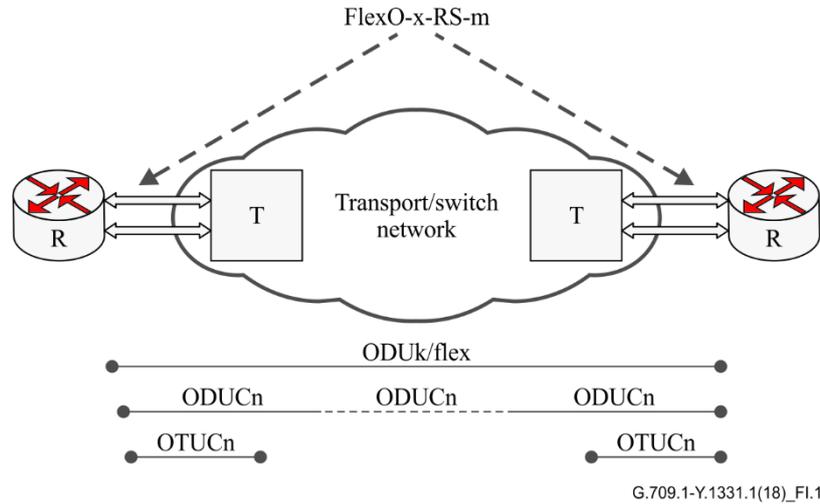


付図 C-3/JT-G709.1 再生装置を用いたローカル/リモート劣化の相互インターワーク運用 (ITU-T G.709.1)

付録 I 短距離アプリケーションの例

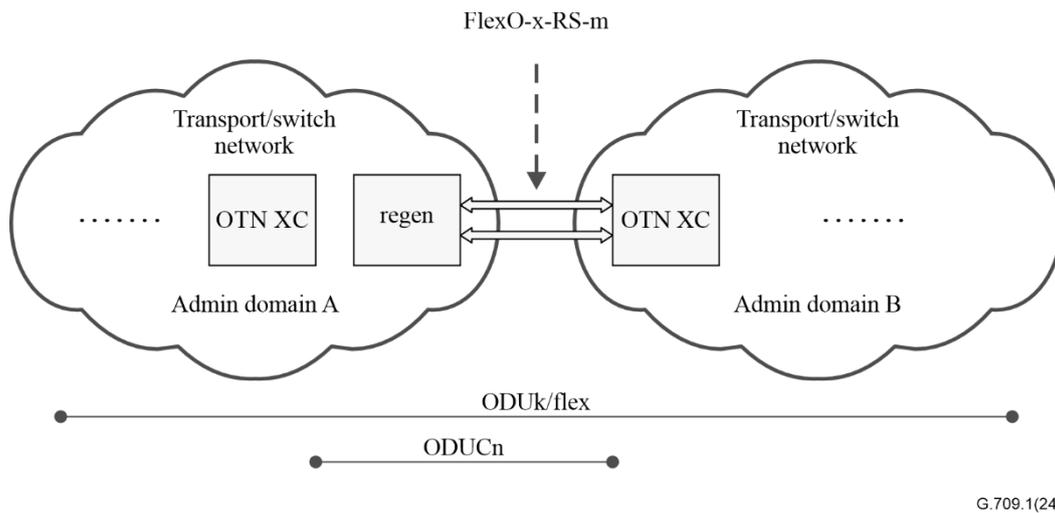
(本付録は参考資料であり、標準の一部ではない。)

FlexO-x-RS-m インタフェースグループは、さまざまなアプリケーションに使用することができる。FlexO-x-RS インタフェースの例としてのアプリケーションは、付図 I-1 および付図 I-2 に示されている。相互接続可能なインタフェースは、ルータ(R)とトランスポート(T)ノード間の OTN のハンドオフを表すか、または異なる管理ドメイン間のハンドオフである可能性がある。



付図 I-1/JT-G709.1 FlexO-x-RS ハンドオフ ルータ-トランスポートの例 (ITU-T G.709.1)

付図 I-1 では、R-T トポロジーが使用されており、[OIF FlexE]に示される FlexO-x-RS と FlexE の使用例との類似点を示している。ODUK/flex (100Gbit/s を超えるレートが可能)は、OTN トランスポート/スイッチネットワークにおけるトランスポートサービス(パス)および保守エンティティである。ODUCn/OTUCn はセクションを形成し、FlexO-x-RS はインタフェース機能(例えば、FEC、ボンディング、スクランプリング)を提供する。



付図 I-2/JT-G709.1 FlexO-x-RS ドメイン間ハンドオフの例 (ITU-T G.709.1)

付図 I-2 の例は、2つの OTN スイッチ/トランスポート管理ドメイン(A および B)間のハンドオフとして使用される FlexO-x-RS ドメイン間インタフェースを示す。管理ドメインは、異なるキャリア同士、同一キャリア

ア内の異なる機器ベンダ、あるいは同一キャリア内の異なるセグメント(メトロ対コア)を指すことがある。

付録 II 長距離アプリケーションの例

(本付録は参考資料であり、標準の一部ではない。)

FlexO-x(e)-<int> (<int>=DO 変調または DSH 変調)グループインタフェースは、さまざまなアプリケーションに使用できる。

FlexO-x(e)-<int>-m インタフェースグループの例としてのアプリケーションは、付図 II-1 および付図 II-2 に示されている。このようなインタフェースグループは、1つの管理ドメイン内のルータ(R)とトランスポート(T)ノード間の OTN ハンドオフを表すこともあれば、1つの管理ドメイン内で異なるベンダの OTN 機器間のハンドオフを意味することもある。

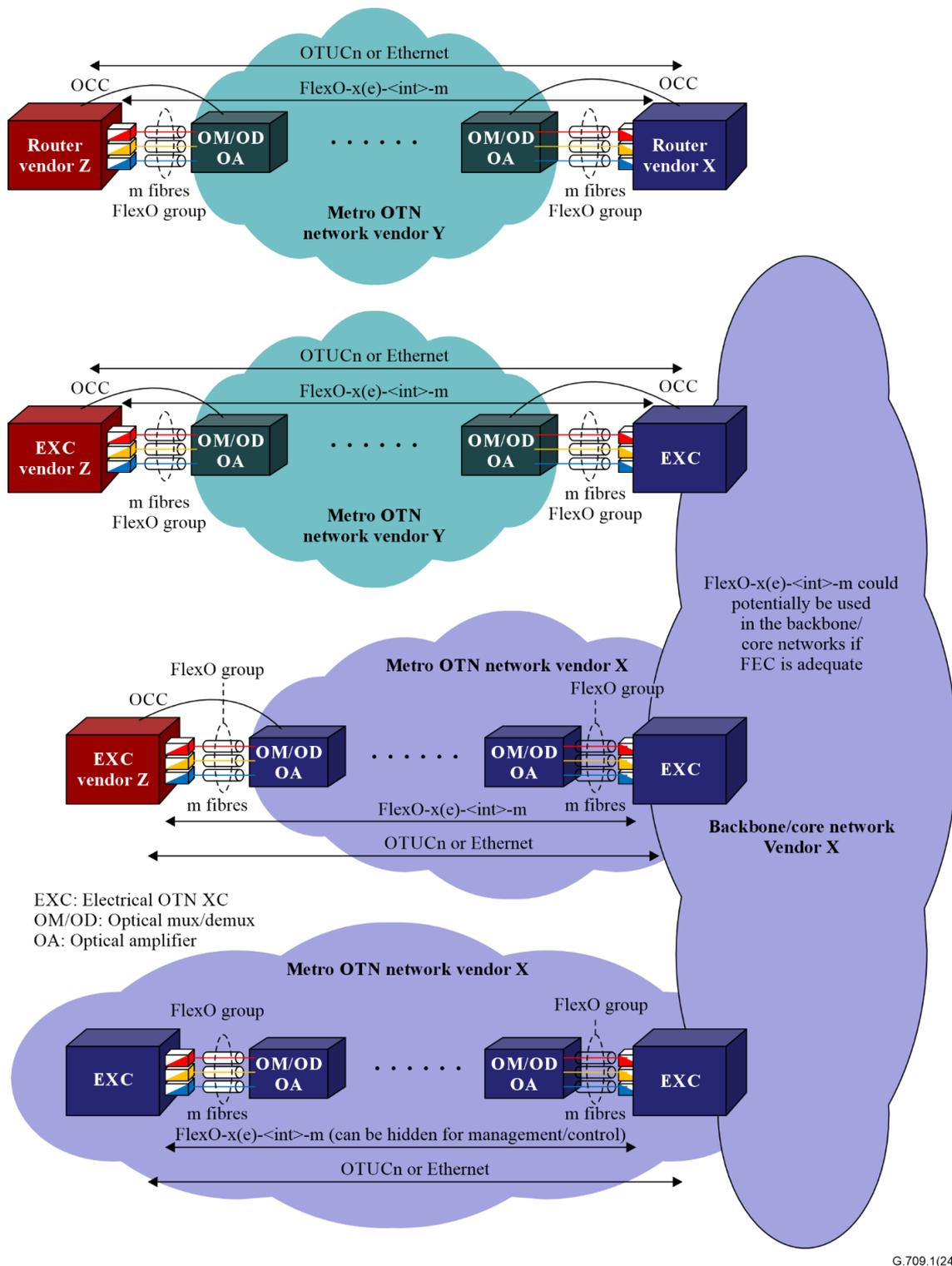
光トランスポートネットワークは通常、メトロネットワークとコアネットワークに細分化され、コアネットワークはメトロネットワークを相互接続する。トランスポートサービスは1つのメトロネットワーク内に留まることもあれば、異なるネットワークにまたがって拡張されることもある。後者の場合、サービスはコアネットワークを通過することがある。

メトロネットワーク内のネットワーク要素は、メトロ/コアゲートウェイ、顧客向けエッジ、トランジットノードなど、さまざまな役割を果たす。顧客向け機能は、クライアントインタフェースの多様性につながる。異なるベンダのネットワーク要素が、この広範な機能を提供するために使用されることがある。FlexO の長距離インタフェースは、異なるベンダまたは同じベンダのネットワーク要素を相互接続するために使用される可能性がある。

付図 II-1 は、関連するメトロネットワークを持つ OTN コアネットワークを示している。この図は以下を示す。

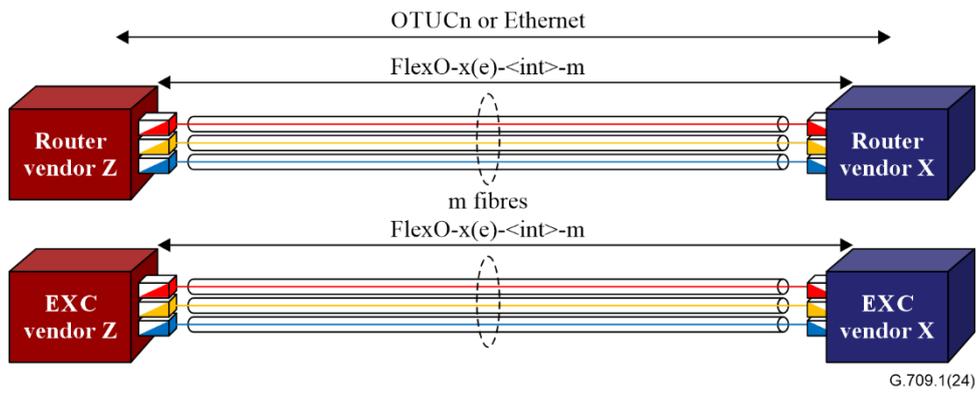
- ベンダ Z のパケットスイッチングノード(ルータとラベル付けされた)が FlexO-x(e)-<int>-m インタフェースグループを使用してベンダ X のルータと相互接続されている
- 電気スイッチファブリックを持つ OTN ODU クロスコネクタノード(EXC とラベル付けされた)が FlexO-x-<int>-m インタフェースグループを使用して、ベンダ Z またはベンダ X の EXC と相互接続されている
- 上記の EXC またはルータノードがメトロ OTN ネットワークを通じて相互接続され、同じベンダ X のバックボーン/コアネットワークに接続されることで、単一の管理ドメインが可能になる
- 同じベンダ X の EXC またはルータノードが相互接続され、OCh または OTSiA のオーバーヘッドが交換されるパスが確立される(OCC を介して、ネットワーク内部であり図示されていないものの、[ITU-T G.872]、[ITU-T G.709]および[b ITU-T G.7712]で指定されているように、エンドツーエンドの光パス監視を可能にする)
- FlexO-x(e)-<int>の FEC が適切であれば、バックボーン/コアネットワーク内の相互接続も可能である

FlexO-x(e)-<int>信号をサポートする光パスの詳細は、[JT-G698.2]で定義されている。



付図 II-1/JT-G709.1 1つの管理ドメインにおける FlexO-x-<int>-m の配置例 (ITU-T G.709.1)

付図 II-2 は、m 本のポイントツーポイントファイバーを通じて EXC またはルータノードを相互接続し、[ITU-T G.709.5]および[ITU-T G.959.1]で定められた FlexO-x-RS-m のサポート距離を超えるドメイン間グループインタフェースを確立する様子を示している。



付図 II-2/JT-G709.1 FlexO-x-RS-m がサポートする距離を超えるドメイン間グループインタフェースを確立する FlexO-x(e)-<int>-m の配置 (ITU-T G.709.1)

参考文献

- [b-ITU-T G.806] Recommendation ITU-T G.806 (2012), Characteristics of transport equipment – Description methodology and generic functionality.
- [b-ITU-T G.7044] Recommendation ITU-T G.7044/Y.1347 (2011), Hitless adjustment of ODUflex(GFP).
- [b-ITU-T G.7712] Recommendation ITU-T G.7712/Y.1703 (2019), Architecture and specification of data communication network.
- [b-ITU-T G-Sup.58] ITU-T G-series Recommendations – Supplement 58 (2022), Optical transport network module framer interfaces.
- [b-ITU-T X.800] Recommendation ITU-T X.800 (1991), Security architecture for Open Systems Interconnection for CCITT applications.
- [b-IEEE 1588] IEEE 1588-2008 – IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems.
- [b-ISO/IEC 18033-3] ISO/IEC 18033-3:2010, Information technology – Security techniques – Encryption algorithms – Part 3: Block ciphers.