光伝送網の多重収容技術に関する標準化動向

新宅 健吾（しんたく けんご） /小林 正啓（こばやし しょうけい）※
NTT未来ねっと研究所

ここでは，ITU-Tにおいて国際標準化が進められている光伝送網規格OTN（Optical Transport Network）に加え，5Gモバイル網向けの多重収容規格に関する最新動向を紹介します．

ITU-Tにおける光伝送網に関する多重収容技術の検討

ITU-T Study Group 15 Question 11（Q11/15）は，通信事業者の基幹網で利用される光伝送網の多重収容技術に関する国際標準化を行っています．中でも，ITU-T勧告G.709に規定されるOTNインタフェースは，長距離・大容量の光通信を実現する光伝送装置に適用され，基幹網の経済化に大きな役割を果たすことから，NTTはOTNに関する国際標準化に積極的に寄与してきました．

OTNは①多様なクライアント信号を転送用フレームへ収容する，②複数の転送用フレームをより高速な転送用フレームへ多重収容する機能を担います（**図1**）．ここでは，2001年に最初の勧告が制定されて以降，光伝送技術の進展に伴い高速フレームの大容量化を主眼に進められてきたOTNにかかわる多重収容技術とその機能拡張の検討を説明します．また，近年Q11/15において一部の国より提案され，検討している5G（第5世代移動通信システム）モバイル網向け多重収容技術の要件をまとめた勧告G.8300，ならびに新しい多重収容技術であるMTN（Metro Transport Network）（仮称）を紹介します．

大容量化に向けたOTN多重収容技術の検討

OTNは，勧告が制定された当時に主要なクライアント信号であったSDH*[1]に合わせてOTU1（Optical

※　現：NTTエレクトロニクス

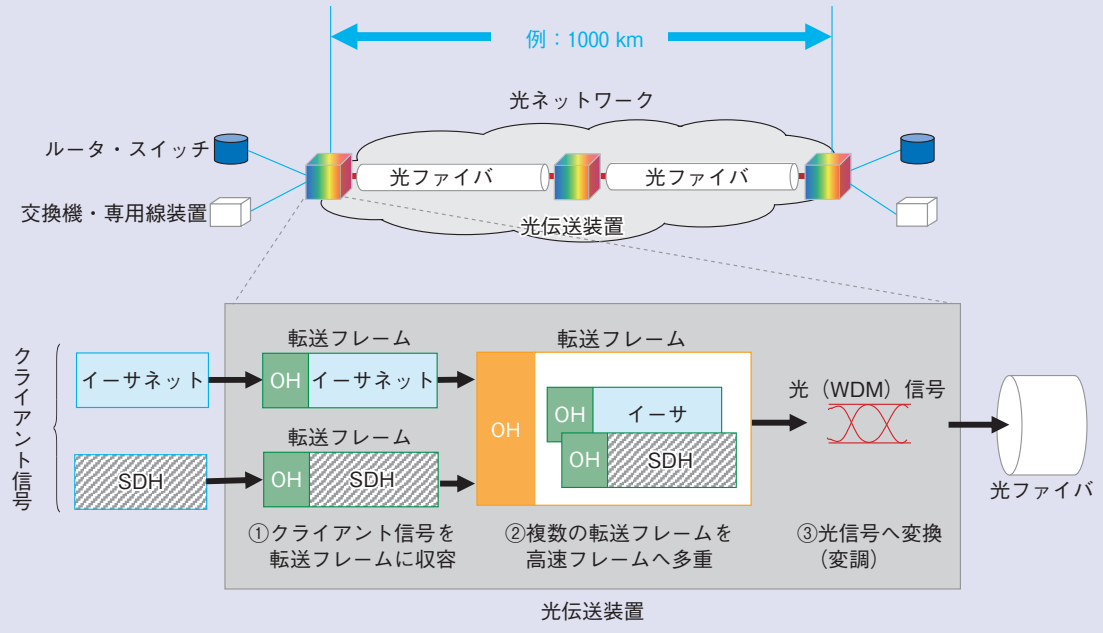

図1　光伝送網

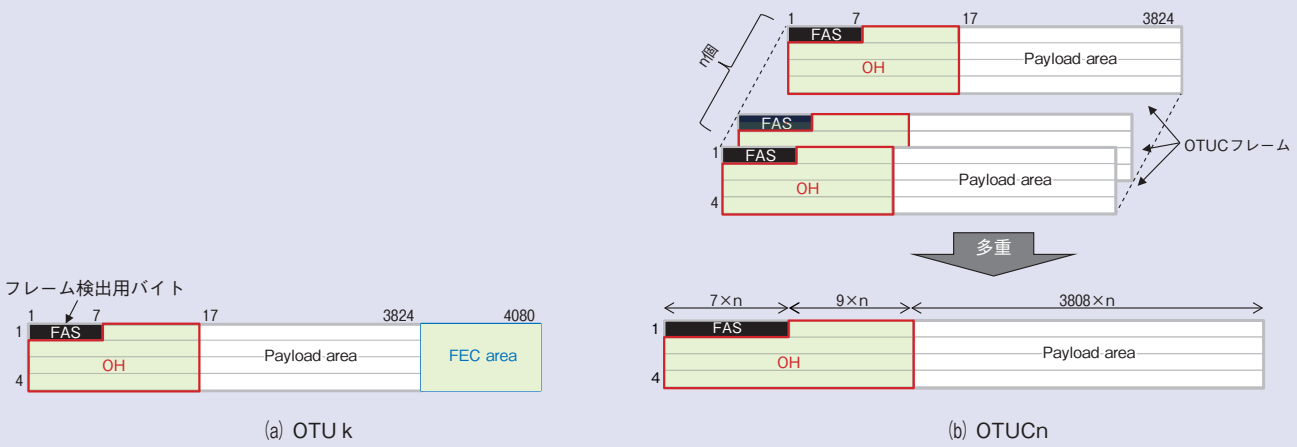

図2　OTUのフレーム構成

Transport Unit 1）（2.67 Gbit/s），OTU2（10.7 Gbit/s），OTU3（43.0 Gbit/s）という3つの伝送速度が規定されました．その後，100G Ethernet（100GbE）の収容を目的としてOTU4（112 Gbit/s）が2010年に加えられました[1]．

OTUk（k=1，2，3，4）は，**図2**(a)に示すように，クライアント信号を収容するペイロード領域，監視・制御用の情報を収容するオーバーヘッド（OH: Overhead）領域，伝送中に発生するビット反転を修正するための誤り訂正符号（FEC: Forward Error Correction）領域からなる，4×4080バイトの固定長フレームで表されます．OTUkでは伝送速度によらずこの固定長フレームを用います．

その後，IEEE 802.3において200G/400G Ethernet（200G/400GbE）の標準化が行われるなどOTNに収容するクライアント信号の高速化が進展したことに伴い，Q11/15においても100 Gbit/s超（B100G: Beyond 100G）のOTN検討が行われました．B100G OTNでは，大容量伝送を実現するだけでなく，その柔軟性・拡張性も重要視されたことから，100GクラスのOTUCフレームをn個多重する構造のOTUCnフレーム（nは正数）として規定されました（図2(b)）．OTUCnフレームは，複数の光信号（波長）を並列に用いるマルチキャリア伝送への対応も意識しており，1つの光信号当りの伝送速度に合わせてOTUCフレーム数（多重数）を変えることで柔軟な光伝送インタフェースを実現できます．

一方で，OTUkフレームの特徴の1つであるFEC領域は，光信号の物理的な伝送速度に合わせた最適な符号化方式や領域を規定する必要があることから，OTUCnから切り離され，勧告G.709.1/G.709.2/G.709.3内で別途規定されることになりました．これら勧告で規定されるFECについては，後述するFlexOフレームとともに説明します．

OTNの機能拡張の検討

EthernetやOTNの高速化が進展する一方で，近年複数の物理インタフェースを束ねて大容量のリンクを構成する技術の標準化が進みました．従来IEEE 802.3adにおいて，複数のEthernetの物理インタフェースを束ねて大容量のリンクを構成できるリンクアグリゲーションが規定され，用いられてきました．例えば，リンクアグリゲーションを用いて100GEを4本束ねることで400 Gbit/sのリンクを構成できます．しかしながら，データフローは同一の物理インタフェースに結び付けられるため，1つのデータフローの帯域は物理インタフェースの速度（上記の例では100 Gbit/s）に制限されたり，特定の物理リンクにデータフローの偏りができる等，大容量リンクを効率的に使用できないという課題がありました．この課題を克服するため，OIF（Optical Internetworking Forum）は2016年にFlexE（Flexible Ethernet）を規格化しました．複数の物理インタフェースを束ねて大

＊1　SDH（Synchronous Digital Hierarchy）：ITU-T勧告G.707で規定される同期デジタル多重階梯．低速の信号（音声情報64 kbit/sなど）をあらかじめ決められた速度系列に順次積み上げて（多重化して）伝送する技術．

容量リンクを構成する点はFlexEもリンクアグリゲーションと同じですが，時分割多重的な方法により，物理インタフェースをまたいだ論理チャネルを自由に構成でき，その論理チャネルは通常の物理インタフェースと同等のEthernetリンクとして使用できます（**図3**）．

Q11/15においても，FlexEのように複数の物理インタフェースを束ねることができるFlexO（Flexible OTN）が2017年に勧告G.709.1において規定されました．FlexOのクライアント信号はOTUCnのみであり，OTUCnとFlexOの論理的・物理的な柔軟性・拡張性を兼ね備えた光伝送を実現します．**図4**はG.709.1の例で，n個のOTUCフレームをそれぞれ128×5140ビットのFlexOフレームに収容した後，物理的なインタフェースである光信号の伝送速度に合わせてFlexOフレームをx個ずつ結合（インタリーブ）してm個（m=[n/x]，[ ]は天井関数）のフレームに組み直し，FECを付けた例です．例えば，400GのOTUC4を伝送する場合，200G FlexO（x=2）を2つ（m=2）用いて伝送することも，400G FlexO（x=4）を1つ（m=1）用いて伝送することも可能です．当初は，隣り合って設置されるような光伝送装置間の接続を想定したため，FECには約10 kmまでの200G/400G Ethernetと同じKP4 FEC（RS10（544，514））が採用されました．

実際の光伝送網にOTUCn/FlexOを適用するには中長距離伝送のためのFECを規定する必要があり，NTTはその検討・議論に積極的に寄与してきました．具体的には，異なるベンダの光伝送モジュール・装置間の相互接続検証の実施や国際会議による発表等により性能・経済性に優れたFECを示すことでデファクトスタンダード化を行い，Q11/15においては海外通信キャリアや国内外ベンダの意見をまとめて寄書を連名で提案し続けた結果，2018年に100G FlexOのFECとしてStaircase FECの標準化（G.709.3）を実現しました．同時に，OTU4の中長距離用途のFECとしてもStaircase FECを標準化（G.709.2）としました．さらに，200G/400G FlexOの450 km伝送用のFECの標準化検討・議論にも取り組み，OpenROADM MSA（Multi Source Agreement）でも採用されているOFECの採用合意を実現しました（2020年9月のITU-T SG15本会合でG.709.3に追記・勧告化される予定）．

OTN暗号化

近年のセキュリティリスクに対する関心の高まりを背景に，Q11/15においてもOTNの暗号化の議論が始まりました．はじめにフレーム構造が比較的簡単なFlexOを対象に暗号化方式の

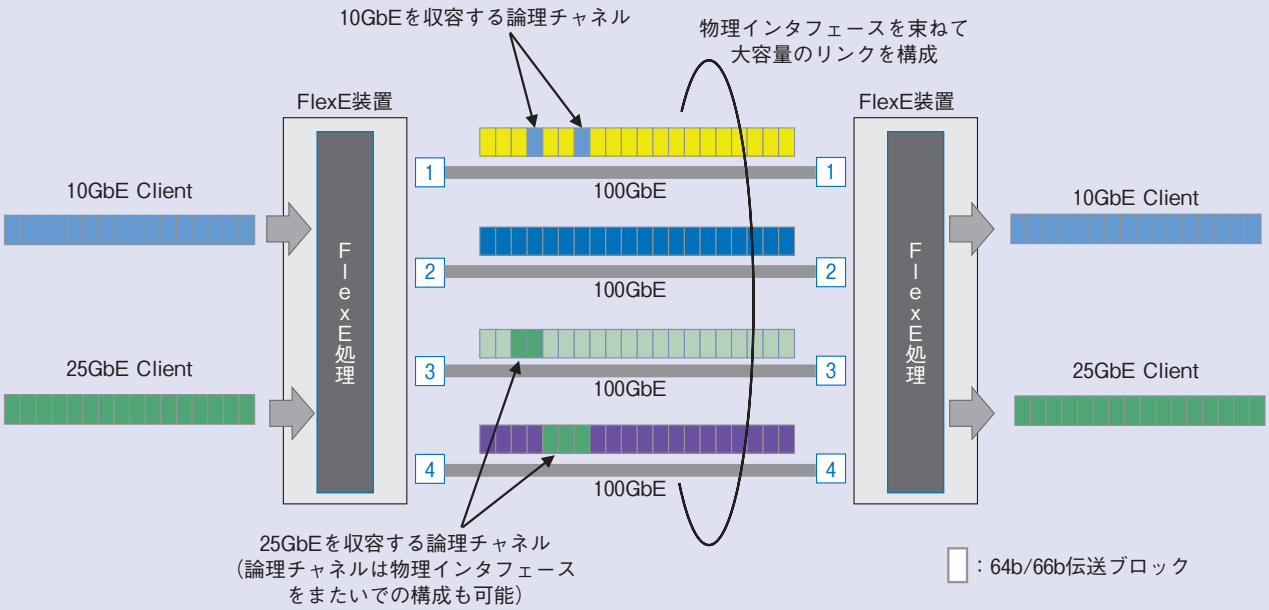

図3　FlexE

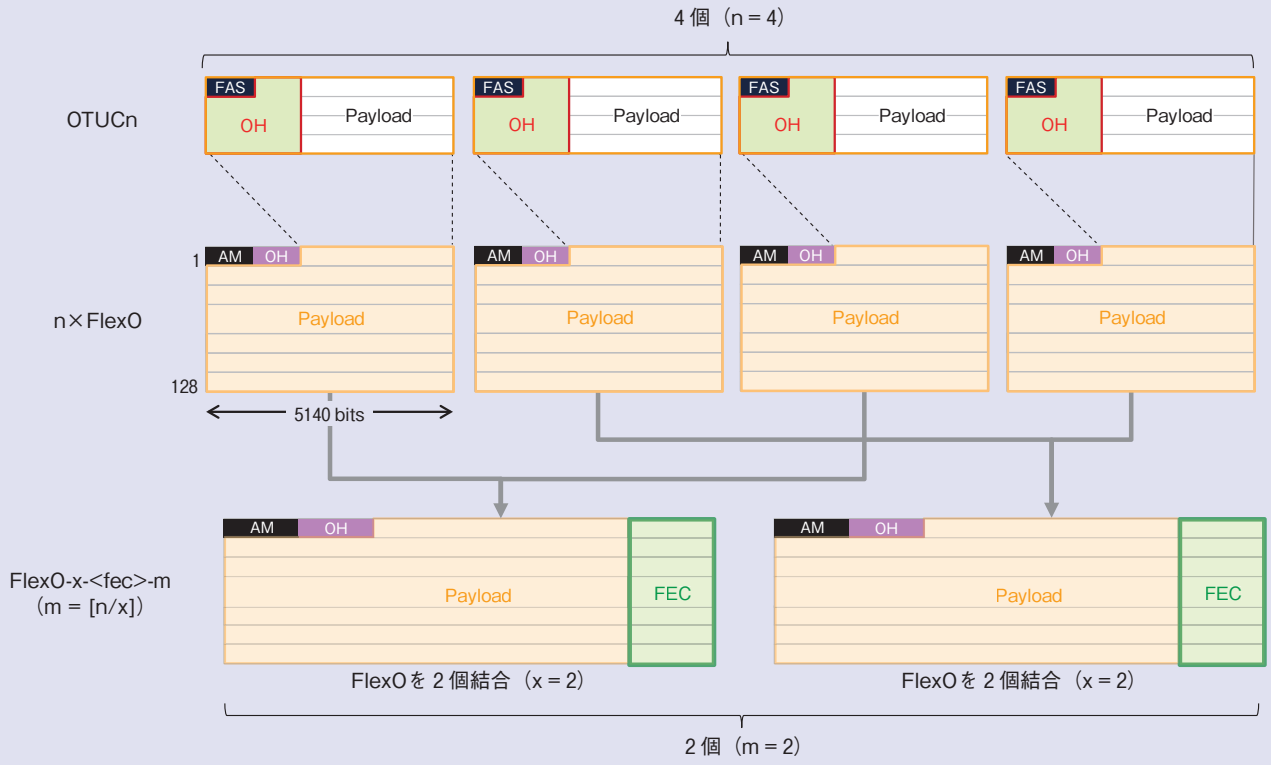

図4　FlexOのフレーム構成例

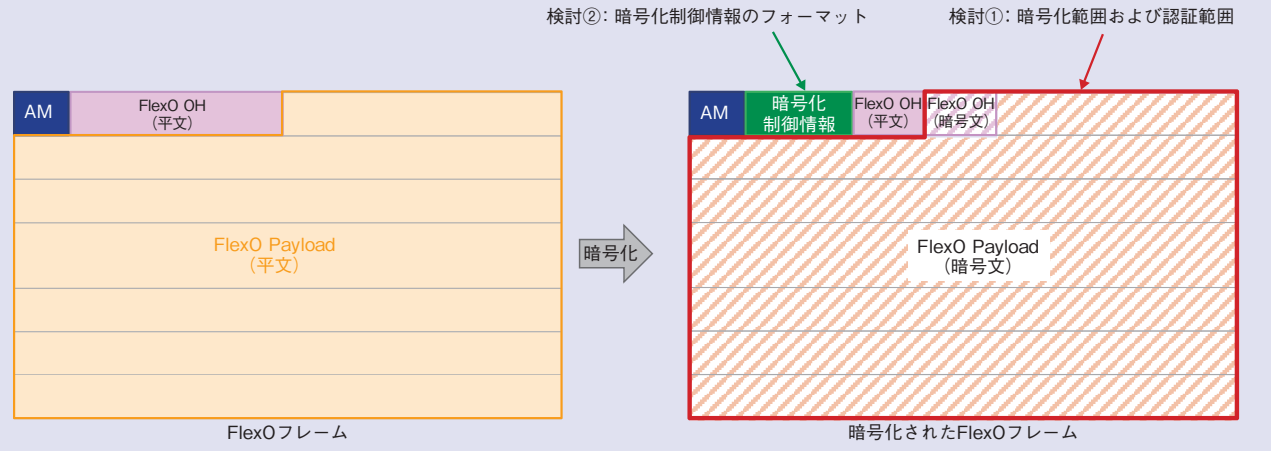

図5　FlexOフレーム暗号化のイメージ

検討が進められ，その後OTUフレームに展開される予定です．

検討では，盗聴を防ぐための暗号化機能と，受信したフレームの改ざん有無を確認するための認証機能が具備される予定です．より具体的にはフレーム内の暗号化範囲や認証範囲，暗号化のための制御情報などのフレームフォーマットについて議論しています（**図5**）．なお，暗号化アルゴリズムについては，本検討の中では新たに標準化はせず，既存のアルゴリズム

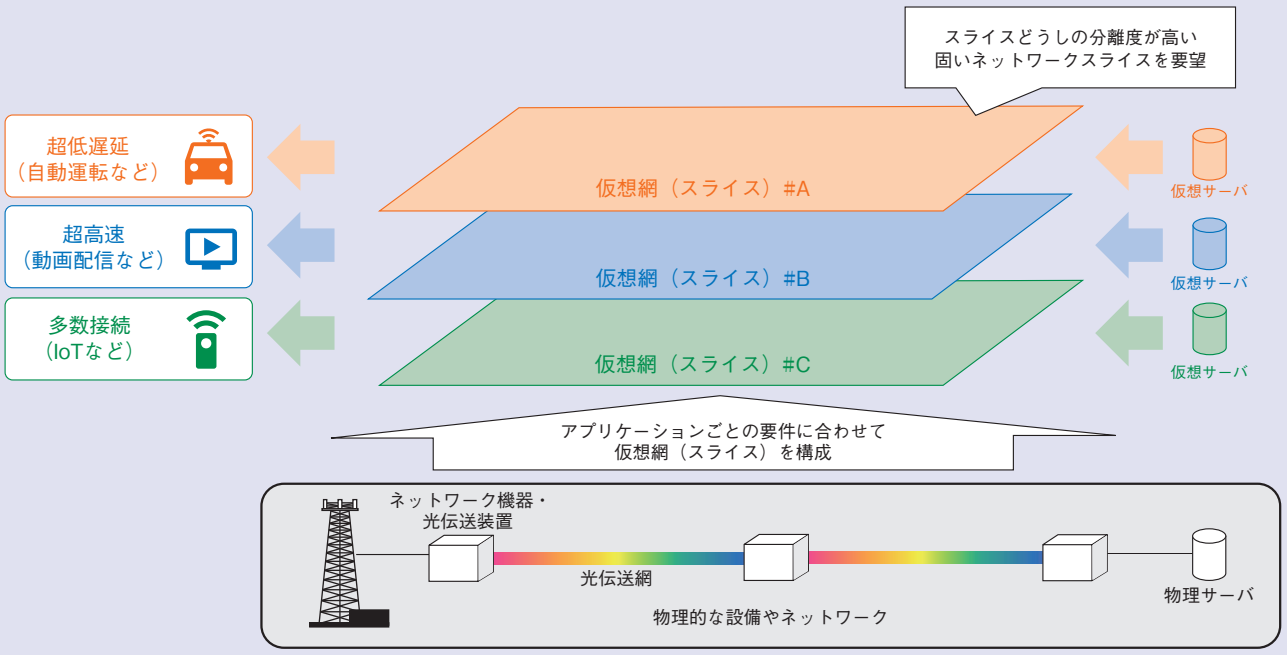

図 6　5Gモバイル網の検討

（AES*2等）を利用することとしています．

5Gモバイル網に向けた多重収容技術の検討

5Gモバイル網の特徴的な要件として，ネットワークスライシングが挙げられます．これは，ネットワーク上の物理設備（物理資源）を仮想的に分割可能な資源（仮想リンク，仮想ネットワーク機能等）として管理し，それら仮想資源を組み合わせることで，遅延や伝送容量などの要件が異なる仮想網（スライス）を共有物理設備上に構成する技術です[2]（**図 6**）．Q11/15は，このような5Gモバイル網の要求条件を整理し，勧告G.8300として標準化しました．特に，同一の物理ネットワークを共有するスライスどうしが互いに影響を及ぼさない，分離度の高いスライス（ハードスライス）の実現への要求が強く，そのための技術としてOTNに加え，FlexEの利用が着目されています．OTNは高速フレームのペイロード領域をタイムスロットと呼ばれる小箱に分割し，そこに低速フレームを固定的に割り当てる多重収容方式が提案されています．OTNのタイムスロットを仮想資源とみなし，低速フレームをスライスとして利用することで，ハードスライスを実現することができます．また，FlexEでは，論理チャネルを応用することでハードスライスを実現することが可能です．このような検討について，OTNを用いた方式については補足文書G.sup.67としてまとめられたほか，FlexEを用いた方式については，2019年 9 月の勧告承認をめざして議論が進められています．

＊2　AES（Advanced Encryption Standard）：米国の標準化機関であるNIST（National Institute of Standards and Technology）によりFIPS 197として標準化され，世界的に利用されている暗号化アルゴリズム．

今後の展開

情報化社会の基盤を担うOTNの標準化は，これからも重要です．NTTとしては引き続き，光伝送技術に関する技術のトレンドや，他の標準化団体やMSAにおける議論動向を把握しながら，ITU-TにおけるOTNに関連する標準化に注力していきます．

■参考文献

⑴　大原・石田：“OTNの標準化動向，”NTT技術ジャーナル，Vol. 21，No. 1，pp. 71-74，2009.
⑵　安川・佐藤・弘田・東條・遠藤・笠原・鈴木：“将来ネットワークアーキテクチャの具現化に向けた取り組み，”NTT技術ジャーナル，Vol. 30，No. 3，pp. 23-30，2018.