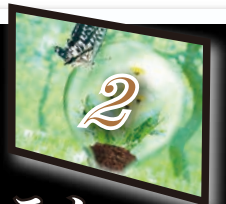


# 複数搬送波伝送方式を適用した 4K・8K 衛星放送のケーブルテレビ再放送システム

— 既存のケーブルテレビ伝送路で 8K 伝送が可能に —



応  
般

袴田佳孝 (NHK 放送技術研究所) 上園一知 ((株) ジュピターテレコム)

## 背景

超高精細度テレビジョン放送 (4K・8K) の映像フォーマットの国際標準化が行われるなど、放送の高画質化への取り組みが世界的にも加速している。国内では、4K・8K 放送の早期実現を目指して、2013年に4K・8K 放送のロードマップが総務省から示された。このロードマップに沿い、2016年8月に衛星による4K・8K 試験放送が開始された。現在、2018年に実用放送を開始するための準備が着々と進められている。

国内のケーブルテレビ加入世帯率は50%を超えており、4K・8K 放送を普及させるためには、ケーブルテレビにおいても4K・8K 放送を再放送することが不可欠である。そこで現行のBSデジタル放送と同じようにケーブルテレビを利用して、家庭で4K・8K 放送を受信するための新しい伝送技術が必要になる。特に8K 放送は従来のデジタル放送の16倍の解像度を実現するため約100 Mbpsの情報レートを持つ。さらに4K・8K 放送では、高度な放送・通信連携サービスを実現しやすくするために新しい多重化方式 (MMT・TLV<sup>1)</sup>) を用いており、MMT・TLVに対応した大容量の伝送技術が必要になる。そこで、NHKは既存の伝送方式を拡張し、大容量の8K 信号を分割して複数の搬送波で伝送する方式 (複数搬送波伝送方式) を開発した。開発した方式の国内標準化については日本CATV技術協会、国際標準化についてはITU-Tにおいて、詳細仕様が検討され、2015年11月には日本CATV技術協

会民間標準規格<sup>2), 3), 4)</sup>が発行され、2016年3月にITU-T国際勧告<sup>5), 6), 7)</sup>が承認された。

本稿では、複数搬送波伝送方式の概要および、方式に準拠した伝送装置を用いて実施した8K衛星放送の再放送実験について述べる。

## 方式の概要

複数搬送波伝送方式の概要を図-1に示す。

ケーブルテレビ局のヘッドエンドにおいて、大容量4K・8K 放送信号をケーブルテレビの周波数チャンネル (6MHz) の伝送容量以下に分割し、それぞれを多重フレーム TSMF (Transport Streams Multiplexing Frame) に多重化し、64 QAM または 256 QAM の変調方式を用いて複数の搬送波で伝送する。1チャンネルの伝送容量は、64 QAM で約30 Mbps, 256 QAM で約40 Mbpsである。ケーブルテレビの既存のデジタル放送で採用されている変調方式を採用することで、既存のケーブルテレビ伝送路を活用できるようにしている。256 QAM は64 QAM よりも伝送容量は大きいですが、雑音や歪みの

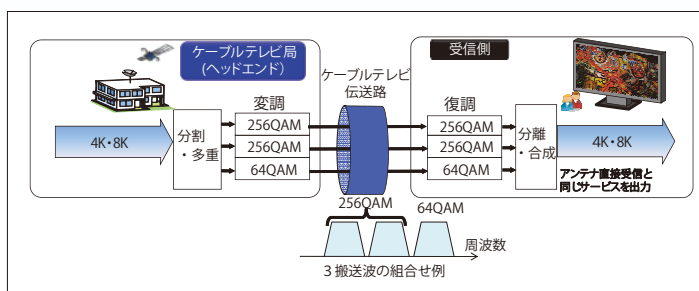


図-1 複数搬送波伝送方式の概要

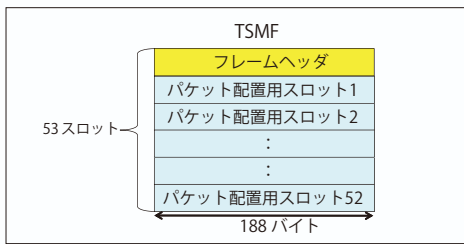


図-2 TSMFの構造

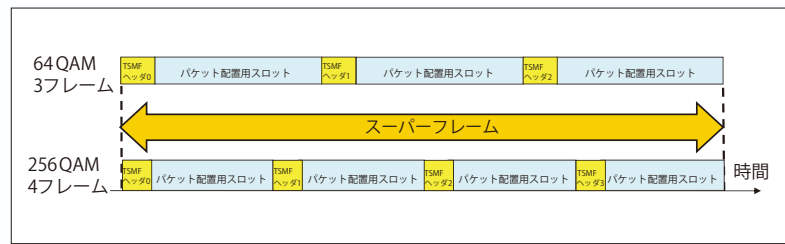


図-3 64QAMと256QAMの信号の同期合成

影響を受けて信号のビット誤りが起こりやすいため、伝送路の雑音・歪み特性によっては64 QAMでないと伝送が困難な場合がある。そこで、各チャンネルの伝送品質に応じて、64 QAMと256 QAMを混在した組合せも可能にした。ケーブルテレビ事業者は、現行の商用サービスで使用していない任意の複数のチャンネルを選択して、伝送チャンネルの伝送品質に応じて変調方式を選択し、4K・8K放送を伝送することができる。

受信機では、各搬送波を復調した信号からTSMFを取り出して同期合成し、大容量4K・8K放送信号を再生する。

### 大容量信号の分割・合成

本節では、大容量信号を送信側で分割して複数搬送波で伝送し、受信機で受信した複数の搬送波の信号を同期合成する仕組みを説明する。

まず、現在のデジタル放送のケーブルテレビ再放送で使われている多重フレームTSMFについて簡単に説明する。TSMFの構造を図-2に示す。TSMFは、MPEG-2 TSパケット（以下、TSパケット）と同じ大きさ（188バイト）である53個のスロットで構成される多重フレームである。各スロットを188バイトとすることで、MPEG-2 TS伝送用に開発された変調方式と組み合わせて利用できるようになっている。TSMFの先頭の1スロットをフレームヘッダとし、“TSパケットの配置を示す情報”などを格納している。残りの52スロットがTSパケットを配置するパケット配置用スロットとなっている。最大15のMPEG-2 TSを1つのTSMFに多重化することも可能である。フレームヘッダの情報を用いて、パケットのTSMFへの多重化および分離処理が行

われる。

次に、大容量信号の分割・合成について説明する。64 QAMの搬送波の信号と256 QAMの搬送波の信号の伝送速度が異なるため、TSMF 1フレームの情報伝送に必要な時間が64 QAMと256 QAMで異なる。64 QAMの場合、約2.73ミリ秒であり、256 QAMでは約2.05ミリ秒である。同じ変調方式の複数搬送波（たとえば、256 QAM 3搬送波）であれば、各搬送波の信号の伝送速度が等しいため、受信機で固定長のTSMFのフレームヘッダを同期の基準信号に用いて複数の搬送波の信号を同期し、大容量信号を再生することができる。一方、64 QAMと256 QAMを混在して組み合わせた複数の搬送波の場合、TSMFのフレームヘッダを用いてフレームを同期させることができず、受信した信号を合成することができない。そこで、64 QAMと256 QAMの搬送波の信号を受信機で同期合成するために、64 QAMと256 QAMの伝送速度の整数比（3：4）によって決められた複数の多重フレームを単位とするスーパーフレームを定義した。

図-3に64 QAMと256 QAMの信号の同期合成時のスーパーフレームの構成を示す。送信装置で、スーパーフレームを用いて複数の搬送波に分割した信号を伝送する。そして、受信機では、スーパーフレーム単位で複数の搬送波の信号を合成することで、大容量信号を正しく再生することができる。このとき、同期合成に必要な“スーパーフレーム内のTSMFフレーム数情報”、“スーパーフレーム内のTSMFフレームの位置情報”は、TSMFのフレームヘッダ内の現在のデジタル放送の再放送では定義されていない拡張領域（extension\_data領域：680ビット）に追加する。

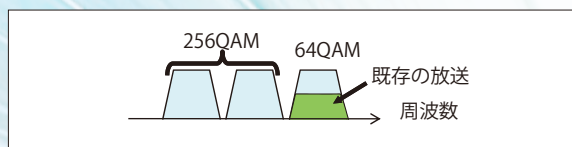


図-4 複数搬送波伝送方式の信号と既存放送の多重化例

### 既存の伝送方式との後方互換性

複数搬送波伝送において、4K・8K 放送信号とともに既存の放送を TSMF に多重化することができれば、より効率よく伝送することができる。

図-4 に、複数搬送波伝送方式の信号と既存の放送を多重化する例を示す。TSMF の機能を活用することで、1 搬送波に現行のデジタル放送で使われる MPEG-2 TS とともに 4K・8K 放送信号を分割した信号を多重化して伝送することも可能である。従来の TSMF を拡張した多重フレームを用いているため、現行放送を受信する既存受信機との後方互換性を確保できる。

### TLV パケットへの対応

伝送信号の多重化方式は、従来の MPEG-2 TS とともに、高度広帯域衛星放送方式で採用された TLV 多重化方式に対応している。TLV 多重化方式は、IP パケットを放送伝送路で効率的に伝送するための多重化方式である。TLV パケットは、IPv4 パケット / IPv6 パケット / ヘッダ圧縮 IP パケット / 伝送制御信号 / スルの 5 種類のタイプを持ち、先頭にパケットタイプおよびパケット長の値を付加した可変長パケットである。一方、現行のケーブルテレビのデジタル放送の再放送では、長さが 188 バイトの MPEG-2 TS パケットを、TSMF に多重化して伝送している。そこで、TLV パケットを TSMF に多重化するために、TLV パケットを分割し、MPEG-2 TS パケットと同じサイズのパケットにカプセル化する。

図-5 に TLV パケットのカプセル化方式を示す。送信機に入力された TLV パケットは分割され、分割 TLV パケットへカプセル化する。ここで分割 TLV パケットは、先頭の 3 バイトがヘッダであり、MPEG-2 TS 信号のパケットと同様に、長さが 188 バイトで先頭バイトの値は 0x47 である。分

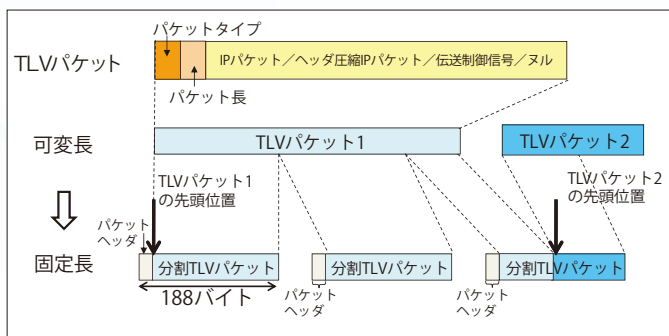


図-5 カプセル化方式の概要

割 TLV パケットは MPEG-2 TS パケットとともに（あるいは分割 TLV パケットのみで）TSMF に多重され、QAM 変調されて伝送される。受信機が分割 TLV パケットから TLV パケットを復元するために必要な情報である "TLV パケットの先頭位置の情報" (図-5 参照) は、分割 TLV パケットのヘッダに格納して伝送する。

受信機では、QAM 復調して得られた TSMF から、所望の TLV パケットがカプセル化されている分割 TLV パケットを取り出し、分割 TLV パケットヘッダに格納している "TLV パケットの先頭位置の情報" および TLV パケット内の "TLV パケット長の情報" を用いて、TLV パケットを復元して出力する。

## 伝送実験

本節では、複数搬送波伝送方式を適用し、2016 年 5 月に商用ケーブルテレビ施設において実施した 8K 衛星放送の再放送実験について述べる。

### 実験系統

図-6 に 8K 衛星放送の再放送実験系統を、表-1 に実験仕様を示す。8K 衛星放送の実験電波 (BS-17ch) をヘッドエンドの BS アンテナで受信後、8K 衛星放送を復調した。復調して出力された TLV ストリームを専用の局間 IP 伝送網を利用してサブヘッドエンドへ伝送した。

サブヘッドエンドにおいて、局間 IP 伝送網から受信した TLV ストリームを複数搬送波伝送方式

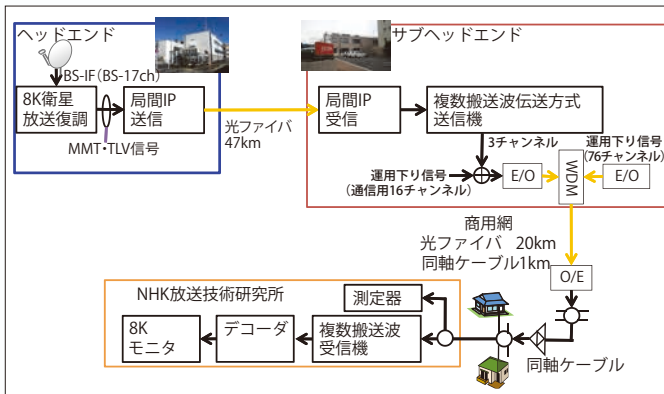


図-6 実験系統



図-7 8K映像・音声の再生

TLV 伝送レート	100 Mbps
1 搬送波の情報レート	256 QAM : 38.149 Mbps 64 QAM : 28.611 Mbps
チャンネル数・変調方式	256 QAM × 2 波および 64 QAM × 1 波
伝送チャンネル (中心周波数 (MHz))	256 QAM : 273 MHz および 447 MHz 64 QAM : 635 MHz

表-1 実験仕様

により3搬送波に分割し、商用サービスで運用している信号と混合後、商用のHFC（Hybrid Fiber Coaxial）網を伝送した。

受信点において、受信機で複数搬送波伝送方式の3搬送波を復調・合成したTLVストリームの遅延時間および伝送遅延ゆらぎ量を評価した。さらに、8Kデコーダおよび8Kモニターと接続し、映像および音声再生した。

## 実験結果

### 遅延時間・伝送遅延ゆらぎ量の評価

衛星受信機から出力したTLVパケット（衛星放送直接受信）と、複数搬送波受信機から出力したTLVパケット（ケーブルテレビ再放送受信）の出力時刻を比較して、衛星放送直接受信に対するケーブルテレビ再放送受信の遅延時間を評価した。50,000パケットを比較した結果、最大遅延時間は22.3ミリ秒であった。今回の8K衛星実験放送は、毎秒59.94フレームの映像であり、遅延時間は2フレーム未満となる。また、伝送遅延ゆらぎ量は0.6ミリ秒（p-p値）未満であった。

### 8K映像・音声の再生

複数搬送波伝送方式の受信機から出力されたTLV

ストリームを8Kデコーダへ入力し、接続された8Kモニターを利用して、8K映像および音声再生の様子を確認した。8K映像・音声再生の様子を図-7に示す。衛星放送直接受信の映像と比較した結果、ケーブルテレビ再放送受信による映像表示遅延が2フレーム未満で伝送できることを確認した。これにより、従来のBSデジタル放送の再放送と同等の遅延時間で8Kケーブルテレビ再放送ができることを実証した。

実験の様子は、NHK放送技術研究所の2016年の一般公開で展示した。

### 参考文献

- 1) ARIB STD-B44 2.0版：高度広帯域衛星デジタル放送の伝送方式(2014)。
- 2) JCTEA STD-002 6.0版：デジタル有線テレビジョン放送多重化装置(2015)。
- 3) JCTEA STD-003 6.0版：デジタル有線テレビジョン放送番組配列情報の構成および識別子の運用基準(2015)。
- 4) JCTEA STD-007 6.0版：デジタル有線テレビジョン放送受信装置(2015)。
- 5) Rec. ITU-T J.183：Time-division Multiplexing of Multiple MPEG-2 Transport Streams and Generic Format of Transport Stream Over Cable Television Systems(2016)。
- 6) Rec. ITU-T J.94：Service Information for Digital Broadcasting in Cable Television Systems(2016)。
- 7) Rec. ITU-T J.288：Encapsulation of Type-Length-Value (TLV) Packet for Cable Transmission Systems(2016)。  
(2016年10月24日受付)

袴田佳孝 ■ hakamada.y-hk@nhk.or.jp

2005年、NHK入局。2010年よりNHK放送技術研究所にて、ケーブルテレビでの4K・8K伝送技術の研究開発・標準化活動に従事。電子情報通信学会会員。

上園一知（正会員） ■ UezonoK@jupiter.jcom.co.jp

2005年、(株)ジュピターテレコム入社。4K・8K放送を含むケーブルテレビ放送サービスの高度化に向けた技術検討や標準化活動に従事。