

4K、8Kテレビ放送の展開と次世代の通信メディア

若 井 一 顕

† 第一工業大学 情報電子システム工学科 〒899-4395 鹿児島県霧島市国分中央 1-10-2
E-mail: † k-wakai@daiichi-koudai.ac.jp

4 K, 8 K of TV broadcasting and next-generation communications media

Kazuaki WAKAI†

† Department of information and electronic system engineering Daiichi institute of technology
1-10-2 Kokubu-chuoh.Kirishima-city.Kagoshima-pre.899-4395 Japan
E-mail: † k-wakai@daiichi-koudai.ac.jp

Abstract Is full transition digital television broadcasts from analog to July 2011, 4 years have passed already. Broadcasting is expected from this current HDTV of 2 K and 4 K, 8 K image service that. You can enjoy immersive up 22.2 channel sound, explain the various 4K and 8K transmission development in the future. 2K has a pixels about 2 million, 4K has 8 million pixels, and 8K be great about 33 million pixels. I would think easy to draw a rough image expressed in horizontal pixel count. 2K has 1920 pixels, 4K has 3840 pixels, and 8 K has 7,680 pixels do. Representing each picture with photo of the Machuputu taken last year.

1. はじめに

2020 年には東京でのオリンピック、パラリンピックの実施が決って、放送においても 4K、8K の高画質サービスが活況を呈してきたように思える。言葉が先行している中で、4K、8K とは何かを最初に解説して、今後の無線通信の展開を俯瞰してみたい。NHK の技研公開が毎年 5 月に開催される。そこでも 8K 放送のデモンストレーションが行われており高画質と高音質の迫力ある音響には次代に向けて多くの期待が持たれる。

2. 4K、8K のテレビジョンの概要

2011 年 7 月にテレビジョン放送はアナログからデ

ジタルに完全移行されて既に 4 年を過ぎた。現在のハイビジョン放送を 2K とすると、これから期待される放送は 4K、8K の画像サービスである。音声も最大 22.2 チャンネルで高臨場感を楽しむことができる。2K、4K、そして 8K を分かりやすく表現し今後の各種メディア展開を解説する。2K は約 200 万画素を有する。4K はその 4 倍の 800 万画素、そして 8K は約 3300 万画素である。更に直感的に表現すると、水平の画素数が 2K で 1920 個、4K で 3840 個、さらには 8K で 7680 個とすれば大まかなイメージを描き易いのではと考える。図 1 に昨年撮影したマチュピチュの写真を使ってそれぞれの画像を表現した。




	解像度	活用展開
2K	 <p>約200万画素 1920×1080 $=2073600$</p>	高精細度 テレビジョン放送 (HD)
4K	 <p>約800万画素 3840×2160 $=8294400$</p>	映画、カメラ、 プロジェクタ (デジタル制作・ 配信)
8K	 <p>約3300万画素 7680×4320 $=33177600$</p>	パブリック ビューイング 視聴

図1 2K, 4K, と 8K の画像と画素数の違い

3. デジタル放送への変遷と 4K、8K ロードマップ

2011 年 7 月に地上波テレビ放送がアナログからデジタルに本格移行された。視聴者はデジタル放送による良質な画像や音声を享受することができ、VHF の跡地利用には多くのメディアが台頭してきている。またソーシャルメディアも著しく発展して情報発信の仕方、受け手の視聴形態なども変化してきている。図2は地上の音声放送とテレビ放送、衛星放送、そしてCS放送のデジタル化への変遷を示した。地上波テレビの

デジタル化は 2003 年 12 月 1 日から始まり、衛星放送のそれは 3 年早い 2000 年 12 月 1 日に始まっている。現在アナログメディアは、中波 AM 放送と超短波 FM 放送の二つだけとなった。音声メディアのデジタル化は 2000 年 10 月 10 日から DAB(digital audio broadcasting)として東名阪の大都市で試験的な放送が行われている段階にある。ヨーロッパを含む諸外国では音声メディアのデジタル化である DRM, IBOC 等が既に始まっている国もある。

今年 2015 年は放送開始から 90 年目の年である。日本の放送のスタートは 1925 年、中波のラジオ放送からであり、東京の芝浦から出力 200W でサービスが始まった。地デジのサービスの展開に合わせて 2010 年か

らは BS の 17 チャンネルを使った地デジセーフティネットが行われており、2015 年 3 月には 5 年間の使命を終えることになる。その BS のチャンネルを使った 4K、8K のメディアサービスの展開も計画されている。

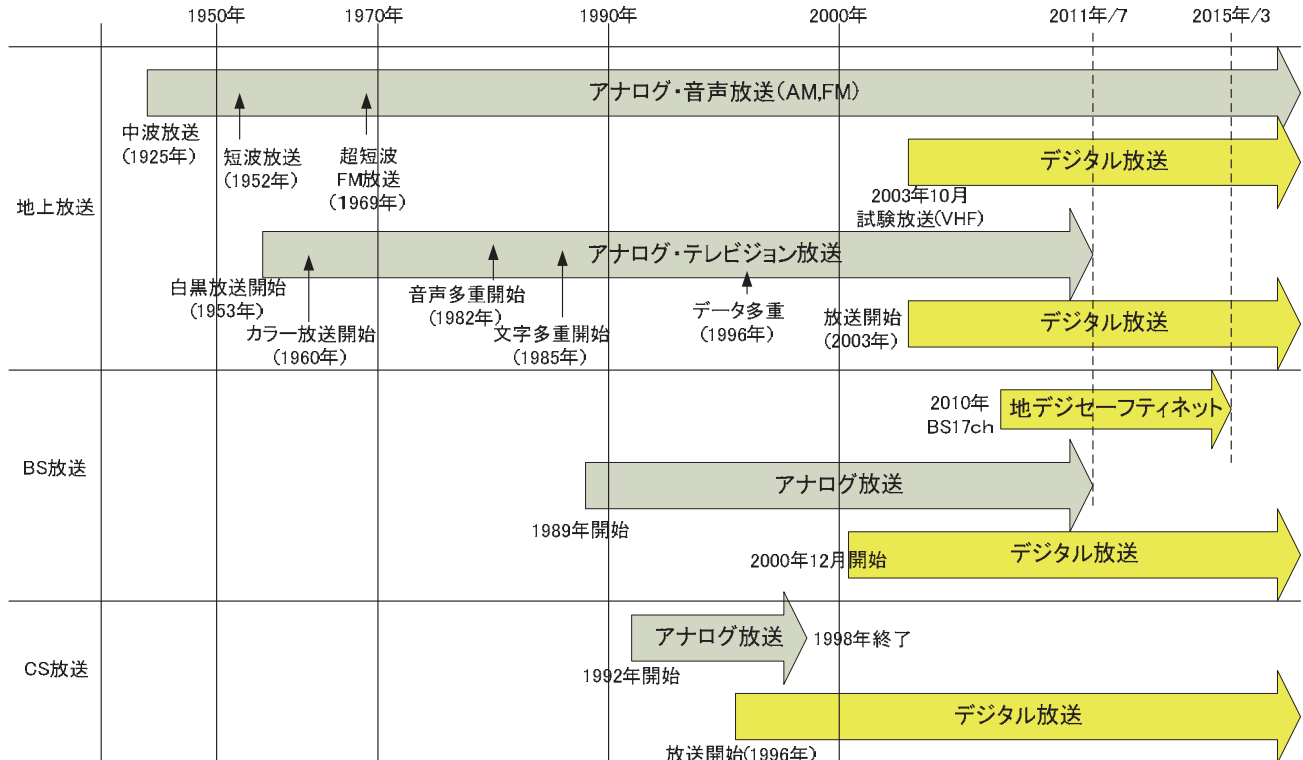


図 2 放送のアナログからデジタルへの変遷

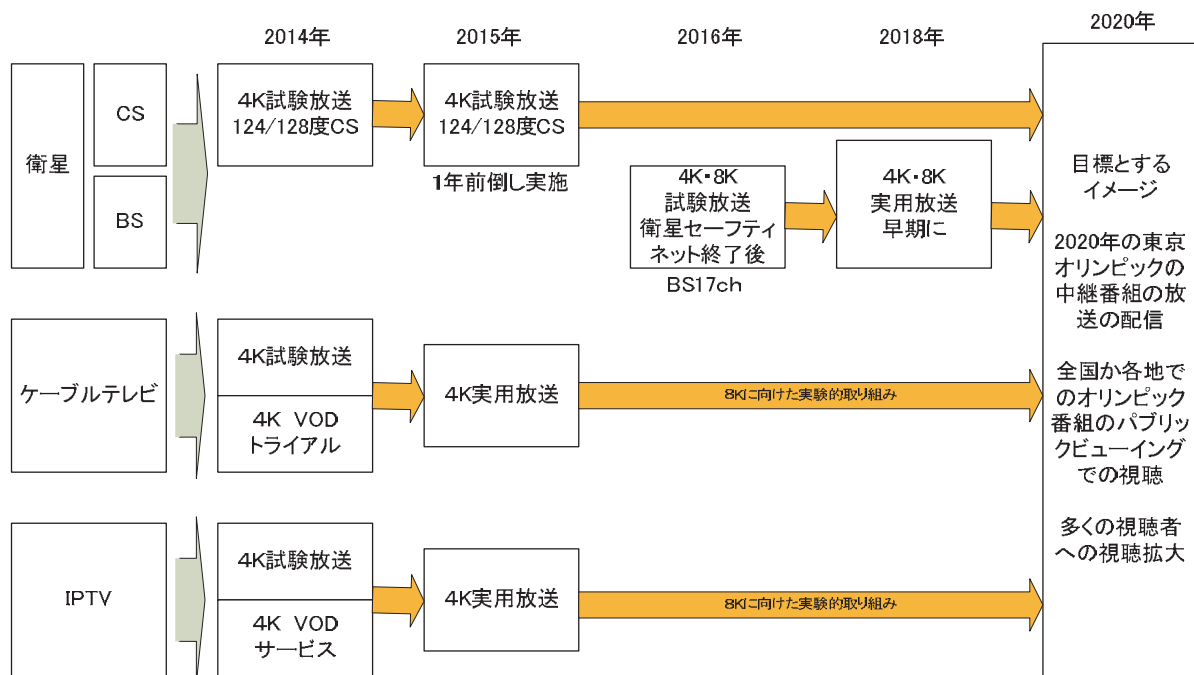


図 3 4K、8K の展開に向けたロードマップ

映画などでは既に 4K 化が進んでいる。インターネット上のコンテンツでも YouTube 等で一部 4K が登場している。タブレットなどでも 4K ディスプレーが TV コマーシャルにも登場している。放送については 2014 年 6 月 2 日から CS 放送で一般社団法人次世代推進フォーラムによる 4K 放送「Channel 4K」が開始されている。ケーブルテレビにおいても全国で 4K のパブリックビューイングが実施されている。図 3 に示した 4K、8K の展開に向けたロードマップでは、2015 年に CS、ケーブルテレビ、IPTV による 4K 実用放送の開始、2016 年に BS (衛星セーフティネット終了後の空帯域) において 4K・8K の試験放送開始を目標に掲げている^[1]。2020 年の東京オリンピック・パラリンピックの中継が 4K・8K で放送され、多くの視聴者が番組を楽しめる環境が準備されようとしている。4K・8K の超高精細度映像技術は、放送以外の分野でも広告、医療、設計、デザイン、防犯・監視、会議・プレゼン、映画、教育・学術分野への応用が期待されている。大きなビジネス展開を期待したい。

4. テレビ放送跡地の活用展開

4.1 V-high V-low の行方

図 4 はアナログテレビの周波数帯の跡地利用の形態である。地上デジタルアナログ放送が 2011 年 7 月に終了して、2012 年にはチャンネルリパック (チャンネルの再整理) も終了した。

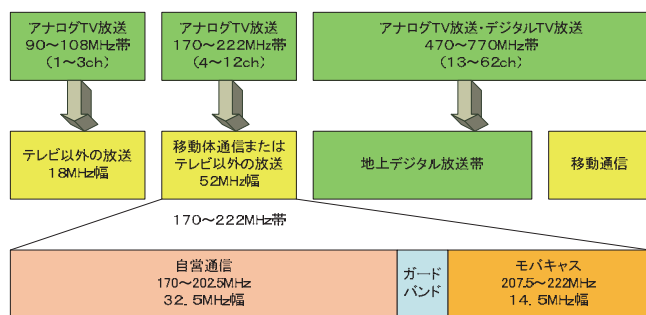


図 4 アナログテレビの跡地利用

図 5 には、90~108MHz 帯の 18MHz 幅の VHF-low のサービス展開を示した。多くの利用が検討されている。

特に地方自治体での緊急非常用の情報伝達のための防災設備として受信機なども開発されている。

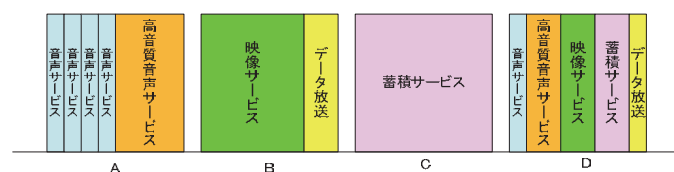


図 5 V-low のサービス展開

4.2 OFDM 伝送の諸元

マルチキャリア変調の信号の構成を示す図 6 は OFDM 波を説明するときに用いるオーソドックスな解説図である。ここでは整数倍のキャリアを加算して信号を生成する。時間軸の合成波を雑音状に表現しているが、各キャリアは単純な正弦波ではなくて、QPSK や QAM された信号の合成波であるから時間軸で観察すると雑音のように表現される。実際の地デジの OFDM 波では 5600 本余りものキャリアで構成されている。図 7 は OFDM 信号を周波数軸上で拡大した波形である。

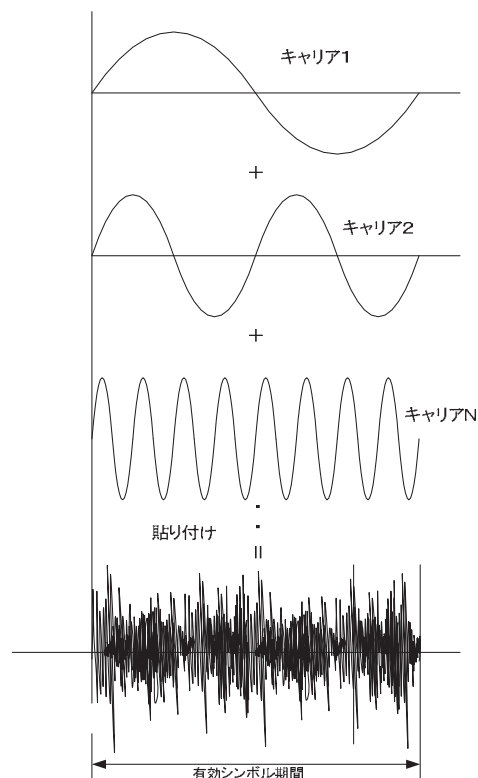


図 6 OFDM 波の構成

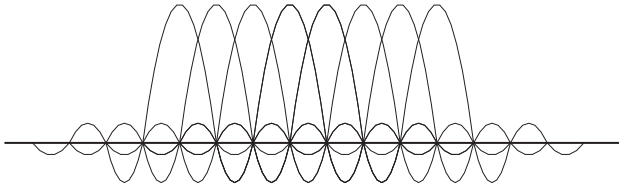


図7 OFDM 信号の周波数軸上での表示

4.3 地デジテレビ放送の OFDM 波の生成

ハードウェアで OFDM 波を生成するためには、I 軸、Q 軸の直交変調回路を多数構成する必要がある。基本的には周波数の本数と同数の QAM 変調回路が必要となる。しかしキャリアは 5600 本余りもあるから個別に変調器を用意していたのでは途方もない回路構成となる。OFDM 波の生成では数学的な演算処理 (IC 回路) によって信号を得ている。そのために IFFT (Inverse Fast Fourier transform) を用いている。時間軸の信号を周波数軸上の信号に変換する操作である。各キャリアにおける多値変調は、QPSK、16QAM、そして 64QAM の形式をとる。図 8 は OFDM の生成のイメージを表現したものである。簡単に表現するために 16QAM のみにして図解した^[2]。

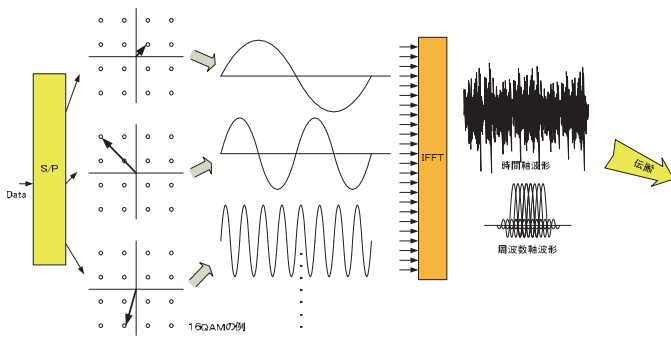


図8 OFDM 波の生成と IFFT

合成された時間軸上の OFDM 信号は、雑音に近い信号となる。例えば各キャリアの QAM のベクトル位相の方向が全て一致してしまえばピーク値はキャリアの数と同様の倍数となってしまう。これが平均電力レベルに対して確率的に OFDM 波は、10 倍 (電圧で 3 倍強) 程度のピーク電力まで増幅する能力が求められる由縁である。これをバックオフ (Back off) という。

1kW の平均電力の増幅に対してピーク電力を考慮すると 10kW 程度の増幅器が必要となる。図 9 は、OFDM の復調回路の構成である。ここでは FFT (Fast Fourier transform) を用いて周波数軸から時間軸に変換する。多値 QAM 波は個別に復調されパラレル信号からシリアル信号に変換される。

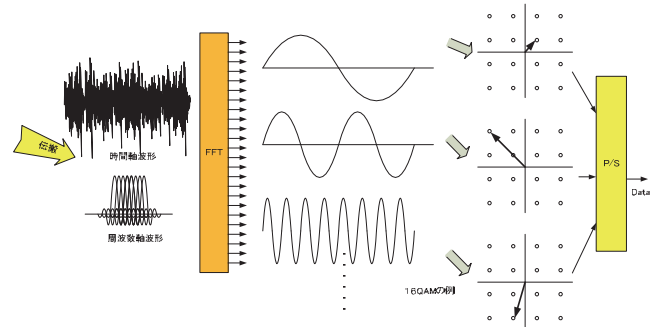


図9 OFDM 波の復調と FFT

4.4 シンボル長からみたマルチキャリアと多相化の利点

シングルキャリア (1 周波数) をデジタル信号で変調する場合、例えば 10Mbps で BPSK (Binary Phase Shift Keying) すると、周波数帯域の幅は、10MHz に広がる。次に QPSK にして同様の 10Mbps を伝送すると、各 I 軸、Q 軸へは 2 分の 1 の 5Mbps の伝送レートとなるから伝送帯域は BPSK に比べて QPSK の方が半分ですむ。逆に BPSK の帯域幅が許容されれば、QPSK での伝送レートは 20Mbps に増加させることが可能である。

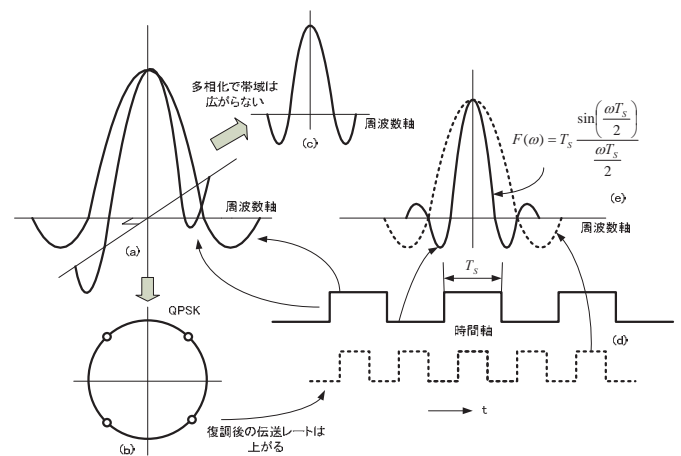


図10 多相変調と帯域の関係

そのようなイメージを表現してみたのが図 10 である。多相化して、各相を同じ伝送レートで PSK 信号生成しても帯域は増加しない。メリットばかりのようにも見えるが、多相化したときには、それぞれの信号の相間の識別が大変であるということもある。相間には雑音やひずみ加わるから多値ほど識別しづらくなる。従って雑音等とのトレードオフになる。周波数帯域はパルス幅で決定されると考えられるから、高速なパルスほどパルスの時間幅は狭くなるから周波数帯域幅は増加する。もう一つ、説明を加えれば伝送レートを下げることによって信号のシンボル長（符号間距離）は長くなる。これは、同一のマルチパスに対して符号の受ける干渉はシンボル長の長いほうが少ない。伝送レート 10Mbps に対して 5Mbps であればデータの符号長は低伝送レートの方が長い。あまり簡単に表現すると、専門家からクレームが出るかもしれないが、シングルキャリアのデジタル変調とマルチキャリア (OFDM のような) の場合を分かり易く比較してみる。地デジの OFDM キャリア間隔が約 1 kHz、キャリア総数が約 5600 本、全てのキャリアを 64QAM にすると、1 キャリアの伝送ビットは 6bit であるから、伝送レートは、1 (kHz) × 5600 (本) × 6 (bit) = 33.6Mbps となる。相当乱暴な計算で申し訳ないが、これにガードインターバルや、誤り訂正の符号化率（内符号、外符号）で割り引いてやると、実際の地デジでは情報レートで 20Mbps 程度は 13 セグメントで伝送できそうである。比較するためにシングルキャリアをデジタル変調で 33.6Mbps を伝送する場合には、 $33.6 \text{ (Mbps)} \div 6 \text{ (一応 64QAM として)} = 5.6 \text{ MHz}$ となる。これは、OFDM であれば、1kHz の符号長であったものがシングルキャリアでは 5.6MHz となるから、その逆数としての時間比較では、1msec と $17.9 \mu \text{ sec}$ と大きな違いとなる。これはゆっくり送ったデジタル信号の方が符号間干渉（直接波と遅延波の重なり）などには強くなり OFDM 伝送の優位性が説明できる。

5 衛星放送

5.1 東経 124/128 度の CS 伝送

東経 124/128 度の CS はこれまでも他の衛星メディア

に先駆けてサービスを実施してきている。2 軌道 2 衛星を活用した伝送路は周波数の活用、帯域確保に自由度がある。2008 年に放送を開始した高度狭帯域伝送方式によるサービスが主流である。本方式は、情報源符号化方式 H. 264/MPEG4AVC、伝送路符号化方式 DVB-S2 を採用することで HDTV の多チャンネルサービスを実現している。2014 年 10 月時点では HDTV のチャンネルは 160 である。表 1 は今後の衛星放送の展開を示し、表 2 は CS の狭帯域伝送方式の概要である。

表 1 衛星放送の展開

伝送路		役 割
124/128 度 CS (現行)		他の衛星メディアに先駆けて 3D 等の先進的なサービスを展開 4K における先行的な役割
110 度 CS	右旋 (現行)	高画質 2K を中心に放送番組を提供
	左旋 (予定)	4K/8K を中心に多様な放送番組を提供
110 度 BS (現行)		幅広い視聴者に対して 8K を含め 高画質な放送番組の提供を検討

表 2 CS 狭帯域伝送方式の概要

使用周波数帯	12.2～12.75GHz
伝送帯域幅	27MHz
変調方式	8PSK
情報レート	最大 45Mbps
誤り訂正	内符号：LDPC 外符号：BCH
多重化方式	MPEG-2 TS
映像符号化	H. 265 HEVC
音声符号化	MPEG-2 AAC, MPEG-4 AAC, MPEG-4 ALS

5.2 BS 放送における伝送システム

図 11 に BS 放送による 8K 伝送のイメージを描いた。占有周波数帯域は 34.5MHz でデジタル変調方式は 16APSK を検討している。受信側でデコーダを持ち個別家庭の受信も期待したいが、各種スポーツなどのパブリック・ビューイングへの活用も検討されている。

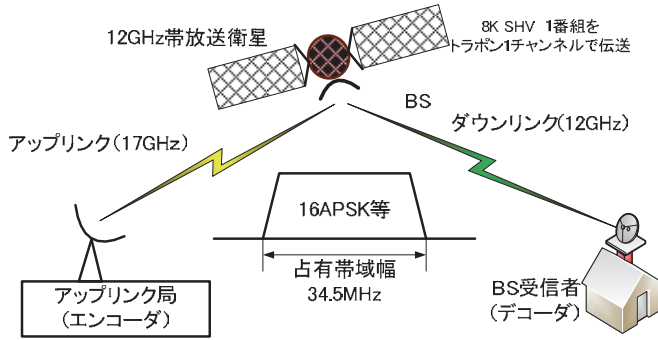


図 11 衛星による 8K サービスのイメージ

6. 地上デジタル放送実験

ここではNHKが行った8Kの地上波伝送実験の概要について紹介する。熊本県人吉で行った実験である。特徴的な部分は、

- ・ 偏波 MIMO(Multiple-Input Multiple-Output)技術
- ・ 超多値化 OFDM
- ・ 誤り訂正方式

キャリアの変調方式として最大 4096-QAMを採用した。

表 3 8K 地上波伝送実験と現行方式

	8K 地上波実験	地デジ ISDB-T
帯域幅	5.57MHz	5.57MHz
キャリア変調方式	4096-QAM	64-QAM
FFT サイズ	32k	8k
ガードインターバル比	1/32	1/8
誤り訂正符号	LDPC 3/4 +BCH 外符号	畳み込み符号 3/4 S(204, 188)
多重量	2×2 MIMO	1×1 SISO
伝送容量	91.9Mbps	18.2Mbps

1 符号あたり 12 ビットの伝送($4096=2^{12}$)となり現行の 6 ビット伝送($64=2^6$)に比べて格段の伝送容量増となる。水平偏波と垂直偏波を使用する偏波 MIMO 技術によって 2 倍の伝送容量を実現している。MIMO については図 12 で解説する^[3]。2 本の送信アンテナと 2 本の受信アンテナを用いてデジタル信号を同一周波数で伝送するものである。伝送路の特性が分っていれば連立方程式から S1、S2 の信号を復調することができる。

伝送路に垂直・水平偏波を用いた MIMO が地上デジタル伝送実験では報告されている。余談であるが従来から利用されている送信アンテナが 1 基で受信アンテナを 2 基としたマイクロ波のスペースダイバーシティなどは、伝送路の相関性が低ければ K 形フェージングによる受信電界のヌル発生を抑圧する技術として関連性を類推できる。また MIMO 技術は次世代通信の伝送容量の増加に LTE としても利用されている。

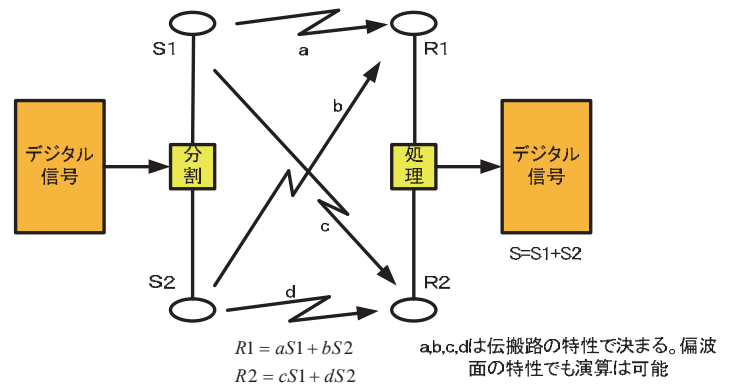


図 12 送受にアンテナを 2 本ずつ使用した MIMO

7. ケーブルテレビによる 4K の展開

ケーブルテレビは、自由度の高い大容量のネットワークインフラである。

- (1) HFC 型 (Hybrid Fiber-Coaxial) : サービスエリア内の幹線系に光ファイバを利用して、各家庭の受信端末までは同軸ケーブルを用いるネットワーク
- (2) FTTH 型 (Fiber-To-The-Home) : センター設備から各家庭の受信端末まで光ファイバを利用するネットワーク

ケーブルテレビの伝送周波数帯域は 6MHz 単位であり、64QAM Annex で 31.644Mbps、256QAM Annex で 42.192Mbps である。「Channel 4K」の映像情報レートは 35Mbps であるから、これを変調して伝送するために 4K トライアルでは 256QAM を利用している。256QAM は 64QAM に比べてノイズ耐性が弱い。所要の C/N が 64QAM で 26dB、256QAM で 34dB とされている。伝送路の品質向上が求められる部分でもある。多値化変調による情報量の増加でも伝送帯域の増加を見込まない分だけ振幅・位相ノイズとのトレードは否めない。

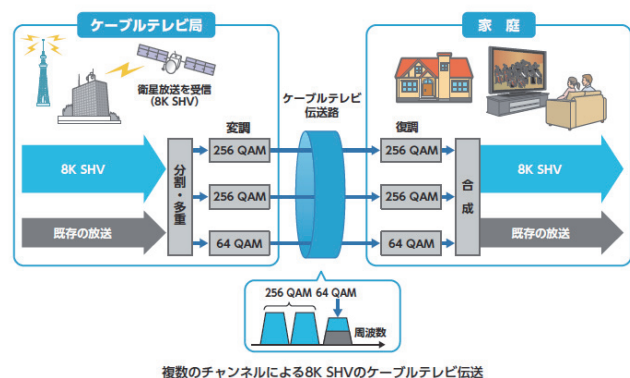


図13 ケーブルテレビによる4Kの展開

「NHK 技研公開 2014」展示資料より

8. IPにおける4K伝送

2014年10月27日に国内初の4K-VODサービスとして「ひかりTV4K」が開始された。4K映像サービスの商用展開にあたっては次の3点が目標とされた。

- (1) 既設の光ブロードバンドにおいて、4K-VOD/IP放送の安定配信
- (2) HEVCデコーダ搭載の4K対応STBの開発
- (3) HEVCエンコードのノウハウの獲得

自主放送と「Channel 4K」のスムーズなサービス展開として自主放送はHEVCにより約25MbpsにエンコードしたTSファイルを放送送出サーバから送出する。

「Channel 4K」はCS受信して復号して、映像・音声の信号(TS)を取り出しIP放送サーバでAES128ビットによって暗号化してIPマルチキャストにより送出する。IPマルチキャストチャンネルの配信レートは約40Mbpsである。

9. 高品質テレビカメラ

NHKでは2016年の試験放送、2018年実用放送を目指して8Kのスーパーハイビジョンの研究開発を行っている。映像パラメータは表4の通りである。既に画素数:3,300万、フレーム:120Hz、階調:12bitのCOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor)のイメージセンサは開発されている^[4]。それをを用いた3板撮像方式の8Kカメラも開発されている。フルスペック8Kと従来のハイビジョンの映像パラメータを比較したのが表5である。

表4 8Kの主な映像パラメータ

画素数	7,680×4,320
フレーム周波数	120, 60
走査方式	順次走査
階調(bit)	12, 10
色域	広色域表色系

表5 カメラにおける8KとFHDTVの画素数

	フルスペック 8K	ハイビジョン
画素数	7,680×4,320	1,920×1,080
フレーム周波数	120(Hz)	59.94(Hz)
階調	12(bit)	10(bit)
色域	広色域	BT.709



図14 2014年NHK 技研公開見学で撮影

10. まとめ

4K、8Kの伝送と放送の展開を解説した。地上デジタル放送が本格運用されて4年経った。次のターゲットとして、より高画質な視聴サービスに向けた技術開発が2020年の東京オリンピック・パラリンピックに向かって展開している。新しい周辺ビジネスの台頭にも期待したい。

文 献

- [1] 映像情報メディア学会誌;「特集 4K, 8K 放送」、2015年1月
- [2] 若井;「地上デジタル放送の展開とその仕組み」、電気計算連載 2010.5~2010.7、電気書院
- [3] 大鐘、小川;「わかりやすい MIMO システム技術」、オーム社、2009年6月
- [4] 島本、安江;「超小型8Kスーパーハイビジョンカメラの開発と番組撮影」、映像情報メディア学会技術報告、ITE Technical Report Vol. 1.39, No. 4 pp. 93-96, 2015年1月