

新連載

日本ケーブルラボが拓くケーブル4Kの未来

第8回 4Kサービスに向けたアクセス回線と ホームネットワークの高度化

日本ケーブルラボ 事業調査部 主任研究員
竹内 正巳



4K/8Kに対応するネットワークを考えたとき、いくつかの新技术導入が必要となる場合がある。アクセス回線においては、所要伝送容量が6MHzのチャンネル幅で伝送可能な範囲を超えた場合や周波数利用効率向上のための対応が必要となってくる。ホームネットワークにおいては、日本の住宅事情を考慮するとWi-Fiの適合性が高い。大容量データをスムーズに送受信するためには、複数のアンテナを立て分割処理する「マルチユーザーMIMO」などの最新技術が適応すると考えられる。今回はそういった大容量の宅内伝送についても解説する。

(図版提供:日本ケーブルラボ)

第1章 はじめに

本号においては、4Kサービスに向けたアクセス回線とホームネットワークの高度化について取り上げ、さらに将来の8Kサービスに向けた技術についても解説する。

4K/8Kサービスのアクセス回線に用いられる技術については、6月号において複数搬送波分割伝送方式や高度なデジタル有線テレ

ビジョン放送方式(J.382方式)などを紹介したが、本号ではこれらについてもより詳細な説明を行う。

またホームネットワークで4K/8KサービスをIP伝送するためにも、安定した高速伝送が不可欠であり、それを実現するための有線LAN技術・無線LAN技術について解説する。

第2章 4K/8K サービスに必要とされる伝送容量と現状技術の課題

本章では、4K/8Kサービスを所定の伝送路で伝送するための所要伝送容量をもとに、アクセス回線およびホームネットワークの現状技術に関わる課題について述べる。

2.1 4K/8K サービスに必要とされる伝送容量

表1は、6月号で解説したHEVC符号化による4K/8Kサービスの各映像プロファイルの所要伝送容量である。4K 60Pでは20～30Mbps、8Kサービスでは総務省令で定められた2つの映像プロファイルを伝送するためには70～110Mbpsが必要となる。

映像メディア	情報量
H.265/HEVC(4K 60P)	20～30Mbps
H.265/HEVC(8K 60P)	70～80Mbps
H.265/HEVC(8K 120P)	90～110Mbps

表1 4K/8Kサービスの所要伝送容量

2.2 アクセス回線の課題

国内現行規格のJ.83 Annex Cを利用するRF伝送方式においては、64QAMで

29.16Mbps、256QAMで38.88Mbpsの伝送能力がある。ケーブルテレビ回線において複数TS伝送方式を使用する場合はTSMF（複数TS多重フレーム）ヘッダーが付加されるので、正味容量は上記の約98%となる。実際の放送波ではデータ放送や番組情報なども伝送する必要があり、そのためのマージンも必要である。

4Kサービスについては、所要伝送容量が20～30Mbpsであるため既存の6MHz幅のチャンネルを用いる64QAMあるいは256QAM変調により伝送可能である。しかしながら8Kサービスになると所要伝送容量が6MHzの256QAMで伝送可能な容量を

大幅に超えるため、3.1および3.2で述べるような新しい伝送技術が必要になる。

IP伝送方式の場合、現在の主流となっているチャンネルボンディング可能なDOCSIS 3.0で所要伝送容量を満たすことができる。ただし、インターネット等の他のトラヒックと帯域を共有すると4K/8Kサービスの品質確保が難しいため、専用の帯域を使用する必要がある。

2.3 ホームネットワークの課題

ホームネットワークについては、利用シーンとして4K/8Kサービスを家族4人が同時視聴することを想定すると、4Kでは25Mbps×4=100Mbps程度、8Kでは90×4=360Mbps程度の伝送容量となる。

有線LANとしてIEEE 802.3イーサネットを用いれば、4K/8Kサービスの同時視聴に必要な伝送容量はギガビットイーサネットで達成できる。しかしながら既設住宅ではLAN配線工事が不可能なケースが多く、代替策は宅内の既存配線を用いる有線LANや無線のWi-Fiとなる。

既存配線については、外国で利用されているMoCA（同軸方式）は、ホームネットワーク用としては日本における利用実績がない。電力線や電話線を利用する方式は、外国において300Mbps以上の通信速度を達成して

いても、日本国内の電波規制により100Mbps以下の実効速度となり、表1に記載した通信速度や必要な到達距離を達成できない場合がある。電氣的雑音や電力線の異相接続などで顕著な信号減衰のある環境では、数Mbpsの実効速度やリンク切れとなってしまうという課題がある。

Wi-Fiにおいては、旧来のIEEE 802.11aや802.11gを用いるとリンク速度は最大54Mbpsである。表1の値や想定した利用シーンを考慮すると、4Kサービスの単独視聴用としては利用可能であるが、4K複数同時視聴や8Kサービスの視聴には不十分である。802.11nの場合、最大4ストリームを使用してリンク速度の最大は600Mbpsとなる。複数同時視聴を行うと1ストリームあたりは最大150Mbpsとなり、4K/8Kサービスの視聴が可能と見込まれる。ただし、電波環境が悪いと速度が低下することが課題となる。

第3章 4K/8K サービスに対応するアクセス回線技術

3.1 複数搬送波伝送方式

本方式は既存ケーブルテレビのセンター設備や伝送路を大きく変更することなく、簡易に放送伝送することを目指して開発された方式であり、既存のITU-TのJ.183勧告を複数搬送波で伝送するように拡張したもので、現在J.183勧告の改訂を日本が提案している。

図1に示すように、4K/8Kサービスの大容量信号をケーブルテレビ局の送信設備で分割して複数の搬送波で伝送し受信側で合成するが、分割・合成機能については新たに開発する必要がある。複数の256QAM、もしくは64QAM信号を用いて多重伝送することにより必要な伝送速度を得ることができ、使用する搬送波の数を増加することにより8Kサービスまで対応可能な方式となっている。

複数のケーブルテレビ事業者の実際の伝送路を利用した本方式による伝送実験もすでに行われ、実証されている。

本方式では256QAMと64QAMのビットレートの比が4:3であるという点に着目し、両変調方式で伝送された信号について受信側で同期合成できる「スーパーフレーム」を定義している。複数TS多重フレーム(TSMF)のペイロードは52スロット^{*1}で構成される。「拡張TSMFヘッダー」と呼ばれる情報がフレーム毎に挿入され、フレーム同期、バージョン番号識別や各種フラグの伝送、誤り検出といった役割を担っている。

拡張TSMFヘッダー内の新規フィールドで定義されたグループIDやフレーム順序などの情報を用いて、複数搬送波におけるフレーム分割・合成処理を実行する。搬送波間のフ

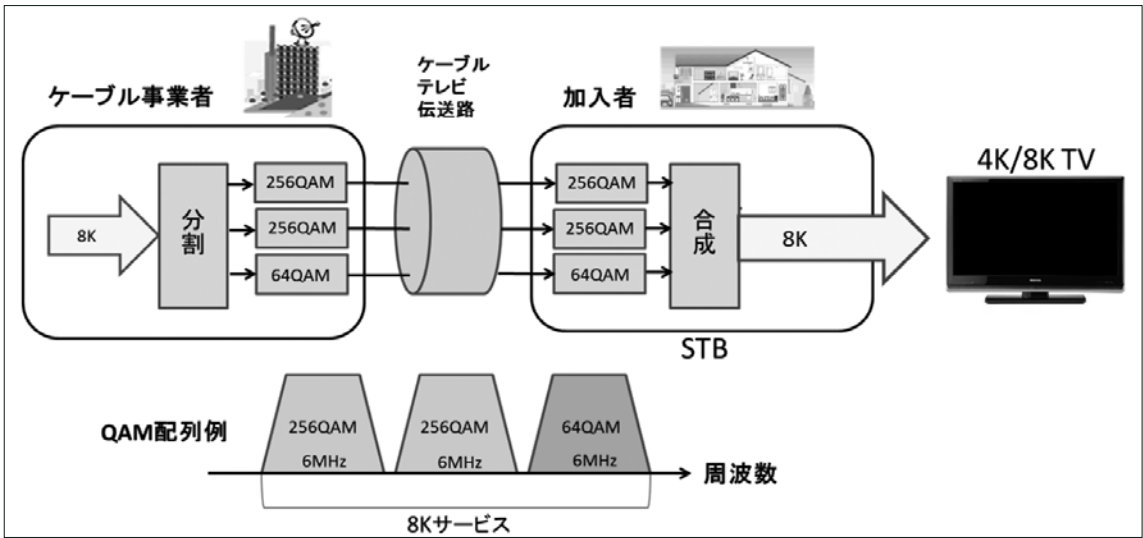
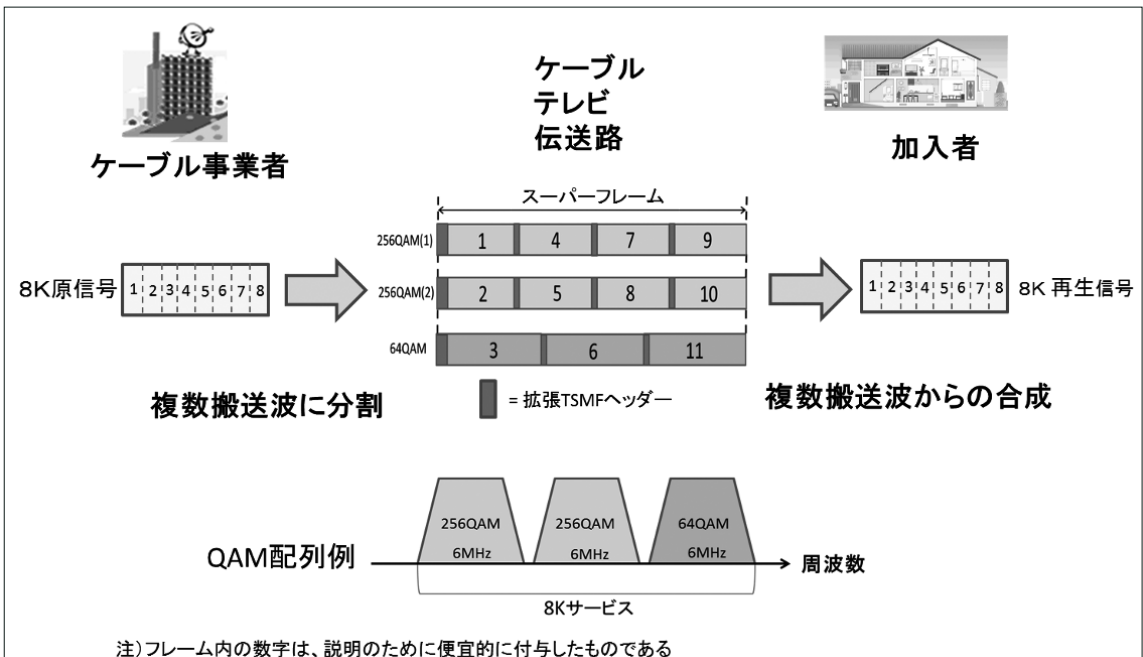


図1 複数搬送波を用いたケーブルテレビ伝送の概要



注)フレーム内の数字は、説明のために便宜的に付与したものである

図2 複数搬送波伝送方式におけるスーパーフレームによる伝送

フレーム位相合わせは、各搬送波のスーパーフレームの先頭を基準として合わせる。複数のグループIDを駆使することにより、4Kサービスと8Kサービスの混在伝送なども可能な仕様となっている。

※1 スロットとは、複数TS多重方式において、最小のデータ単位のこと。TSパケットと同じ188バイトである。

スーパーフレームによる伝送の概要を、図2に示す。

3.2 高度なデジタル有線テレビジョン放送方式 (J.382 方式)

国際勧告であるJ.382方式 (DVB-C2) は、欧州などで実用化しているDVB-Cに続く第

2世代デジタルケーブル規格である。J.382方式の大きな特徴として、キャリア伝送方式にOFDMを採用したことが挙げられる。これらは衛星規格のDVB-S2、地上波規格のDVB-T2で採用されたものをケーブル伝送用でも採用したものである。国内で現在使われているJ.83 Annex Cでは、変調方式は64QAM/256QAMであるが、J.382方式はマルチキャリアのOFDM方式であり、帯域内に複数のサブキャリアを立て、回線品質に応じてそれぞれ16QAMから4096QAMまでの多値変調を選択可能である。誤り訂正は、従来のリード・ソロモン符号に替わり、J.382方式では内符号にLDPC (Low Density Parity Check)、外符号にはBCH (Bose-Chaudhuri-Hocqenghem) を採用している。LDPC符号化率は2/3から9/10までの5

種類があり、チャンネル幅は6MHz、若しくは8MHzを選択でき、さらに本方式ではPLP Bundling と呼ばれる物理チャンネル連結送信技術を利用してチャンネル境界を意識せずに信号帯域幅を拡大できることも特徴である。8Kサービスのような膨大な情報を複数のDS (Data Slice)に分割して伝送し、受信機で合成する方法も規定されている。

J.382方式 (DVB-C2) と従来方式のDVB-C、国内現行規格であるJ.83 Annex Cの比較を表2に示す。

伝送路の所要CN比を、図3に示す。J.382方式の方が、同一速度で比較するとDVB-Cに比べ所要CN比が約7dB緩和される。なお所要CN比は、外符号復号後のBER (ビット誤り率)が 1×10^{-11} 以下となるように設定されている。

		DVB-C2	DVB-C	J.83 Annex C	
誤り訂正	外符号	BCH	RS (204, 188)	RS (204, 188)	
	内符号	LDPC	なし	なし	
	符号化率	2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 9/10	-	-	
	変調	16QAM, 64QAM, 256QAM, 1024QAM, 4096QAM	16QAM, 32QAM, 64QAM, 128QAM, 256QAM	64QAM, 256QAM	
インタリーブ		ビット、時間、周波数	バイト	バイト	
キャリア伝送方式		OFDM	単一搬送波	単一搬送波	
		FFT size	4k	ロールオフ率	15%
		Guard Interval (GI)長	1/64, 1/128		
		Pilot Pattern	2種類 (GIに連動)		
		PAPR低減	Tone Reservation		
		シンボル長	448 μ s (8MHz) 597 μ s (6MHz)		
Signalling		FEC Frame Header, L1-Part2	なし	なし	
伝送信号 (Stream)		MPEG-2 TS, GS (Generic Stream)	MPEG-2 TS	MPEG-2 TS	
Stream多重		Multiple PLP	規定なし	規定なし	
Frame長		448 data Symbols	規定なし	規定なし	
シンボルレート			規定せず	規定せず (5.274Mbaud)	
信号帯域幅		7.61MHz以下任意 (8MHzシステム)、 5.71MHz以下任意 (6MHzシステム) (3408サブキャリア以下) 最大338MHzまで連結 (6MHzシステム) 450MHzまで連結 (8MHzシステム)	8MHz	6MHz	

表2 DVB系の各方式比較

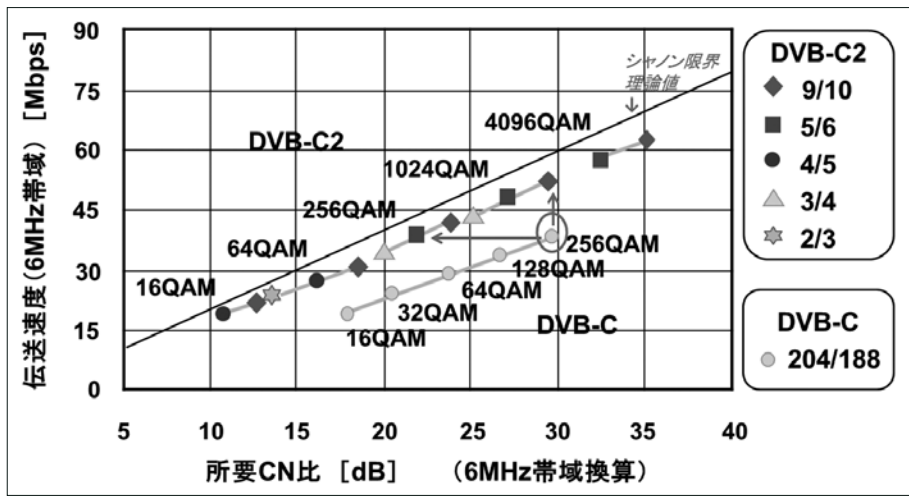


図3 所要CN比・伝送速度と、変調方式・符号化率との関係

J.83 Annex Cの256QAM (38.88Mbps)と比較して、CN比が同じ場合(30dB)は、3割増の伝送速度が得られ、逆に同じ伝送速度をJ.382方式においては256QAM / 符号化率5/6で7dB低いCN比で得ることができる。

サービスについては、J.382方式では、図4に示したようなトランスモジュレーション方式を採用することによって6MHz帯域×2で1番組伝送可能であり、6MHz帯域×3が必要な複数搬送波伝送方式よりも周波数利用効率の点

さらに十分なCN比を得られるのであれば4096QAM(符号化率4/5)を使用すると6MHz帯域で53.1Mbpsの伝送速度が達成できる。

6MHz幅で実現可能な伝送容量を超える8K

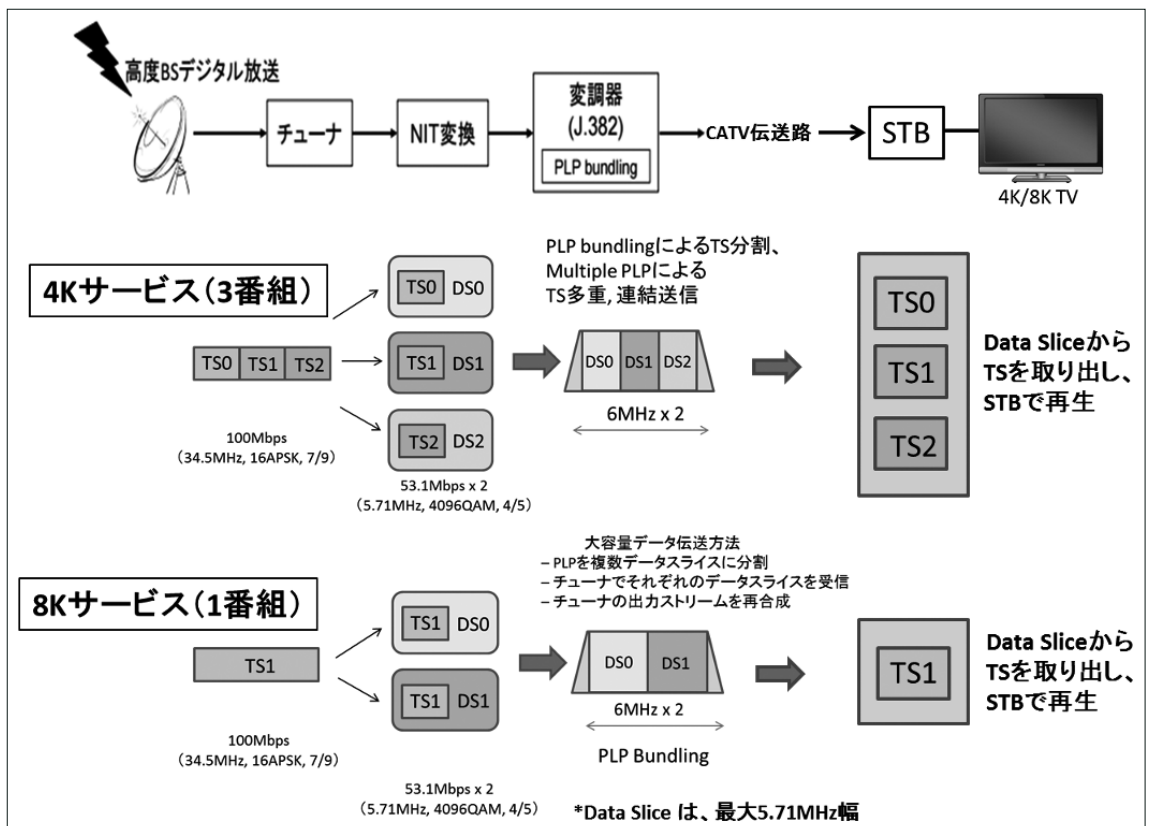


図4 高度なデジタル有線テレビジョン放送方式(J.382方式)

で有利である。4K/8KサービスのみならずHDサービスに利用する場合においても、周波数利用効率が良いことを利用して伝送可能な番組数を増加させる目的でJ.382方式を積極的に活用することも可能である。

3.3 DOCSIS 3.1

DOCSIS はHFC上で4K/8Kサービスを含むIPTVや高速データサービス等を提供することが可能なシステム仕様で、現在の主流はDOCSIS 3.0であるが、2013年10月には最新のDOCSIS 3.1がリリースされた。

DOCSIS 3.0と3.1の概要を、表3に示す。DOCSIS 3.1は、OFDMとLDPC、多値変調などの採用によりDOCSIS 3.0に比べて周波数利用効率を3割以上向上している。CATVチャンネル幅6MHzの制約が撤廃され、チャンネル幅24MHzから192MHzまで柔軟に設定できる仕様となっている。さらに下り

の上限周波数が1GHz以上、上りの上限周波数も204MHz以上まで拡大された。諸条件が許せばHFC伝送路の上限周波数を最大1.8GHzまで拡大することや上下回線の分割周波数を変更することにより、上下回線とも伝送容量の飛躍的な拡大を図ることが可能である。

一般的な設備構成では下り5Gbps、上り1Gbps程度の伝送容量を実現できる。また、従来の64QAMや256QAMを扱うQAM変復調器を一定数備えることにより、DOCSIS 3.0との共存も可能としている。

DOCSIS 3.1においては、大容量化するために最大4096QAMのような高次変調が仕様化されており、伝送路の所要CN比が非常に大きくなる。CN比劣化を極力少なくするには、同軸ケーブルで伝送する距離を大幅に短縮する必要がある。図5に同軸ケーブルによる伝送距離を短縮するFiber Deep構成を従来のHFCと比較して示す。

		DOCSIS 3.0	DOCSIS 3.1
下り	伝送方式	QAM(シングルキャリア)	OFDM(マルチキャリア)
	最大多値変調方式	256-QM	4096-QAM (任意: 8192, 16384-QAM)
	誤り訂正符号	リードソロモン	LDPC/BCH
	帯域幅	6MHz(固定)/チャンネル	24~192MHz/チャンネル
	上限周波数	1GHz	1.218GHz(必須) 1.794GHz(任意)
上り	伝送方式	A-TDMA/S-CDMA (シングルキャリア)	OFDMA(マルチキャリア)
	最大多値変調方式	64-QAM	4096-QAM
	誤り訂正符号	リードソロモン	LDPC/BCH
	帯域幅	0.2/0.4/0.8/1.6/ 3.2/6.4MHz	6.4~96MHz
	上限周波数	~42MHz(米国)	~204MHz(必須) ~任意の周波数に拡張可能

表3 DOCSIS 3.0と3.1の比較

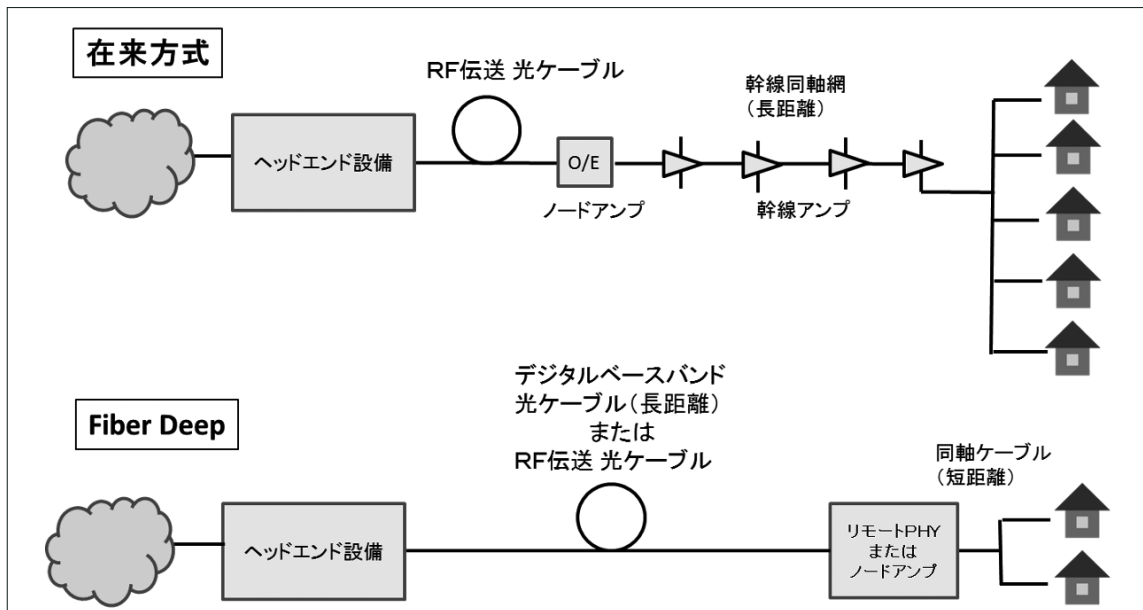


図5 Fiber Deep構成による同軸ケーブル区間の短縮

第4章 4K/8K サービスに対応するホームネットワーク

本章においては、2.3において既に述べた課題を考慮した上で、4K/8Kサービスに対応可能な有線系と無線系の宅内ネットワーク方式として代表的なものを、いくつか取り上げる。

4.1 有線 LAN

ホームネットワーク上のIP伝送方式において、IEEE 802.3イーサネットによる有線LANは速度・信頼性・安定性・秘匿性などの点で有利な方式である。1ギガビットイーサネットで4K/8Kサービスに対応可能である。

既存配線を使用するMoCAは、同軸ケーブルを利用した高速ネットワークである。その他にも、電力線を利用するHD-PLC、HomePlug AV、UPA、電話線を利用するHomePNA (3.1版では同軸ケーブルも利用可能)など、様々な方式が開発・利用されている。

宅内の同軸ケーブル、電力線、電話線の全てを利用し、かつ複数の方式を整理し、高性能な規格を策定する計画を掲げたのが、Home Grid Forumである。

Home Grid Forumである。ITU-T (SG15)において、有線系ホームネットワーク向け規格「G.hn」の策定を進め、G.9960 (PHY)、G.9961 (データリンク)、G.9972 (他方式との共存規格)として勧告化されている。

本方式の概要を表4に示す。通信速度は、規格上は同軸で1Gbps程度 (100MHz帯域を使用した場合)、電力線や電話線で300Mbps弱が期待される。

同軸においては、日本国内ではG.hnの規格上200MHzの連続した帯域幅を使用できるが、具体的にどの周波数を使うかは未確定である。電力線においては、日本国内では最高周波数が30MHzに制限され送信パワーが低く、他の無線局への干渉を避けるためのノッチも有るので、到達距離や通信速度について十分な注意が必要となる。

図6は、G.hnをホームネットワークに適用した例である。この例は、統合ブロードバンドルータを経由して複数台の4K/8K同時視聴に

使用伝送媒体	同軸ケーブル、電力線、電話線(メタル)を全て統合して利用可能
使用周波数(日本国内)	電力線: 2~30MHz、同軸ケーブル: 2~100MHz、350~2950MHz
使用周波数(海外)	電力線: 2~100MHz、同軸ケーブル: 2~100MHz、300MHz~2500MHz
変調方式	OFDM、使用帯域幅は25、50、100、200MHz (200MHz帯域幅は、日本用のAnnex C に記載)
誤り訂正符号	LDPC-BC
媒体アクセス方式	MAP Based Media Access
QoS制御	Priority-based QoS/Parameter-based QoS
セキュリティ	フロー単位にAESによる暗号化
その他	総合通信速度は、1Gbpsを目指している。(超高速インターネットやテレビ用途を意識) ただし電力線のみ利用の場合は、300Mbps。 MAC/PHYレイヤーで、各方式を分流・合流

表4 G.hnの概要

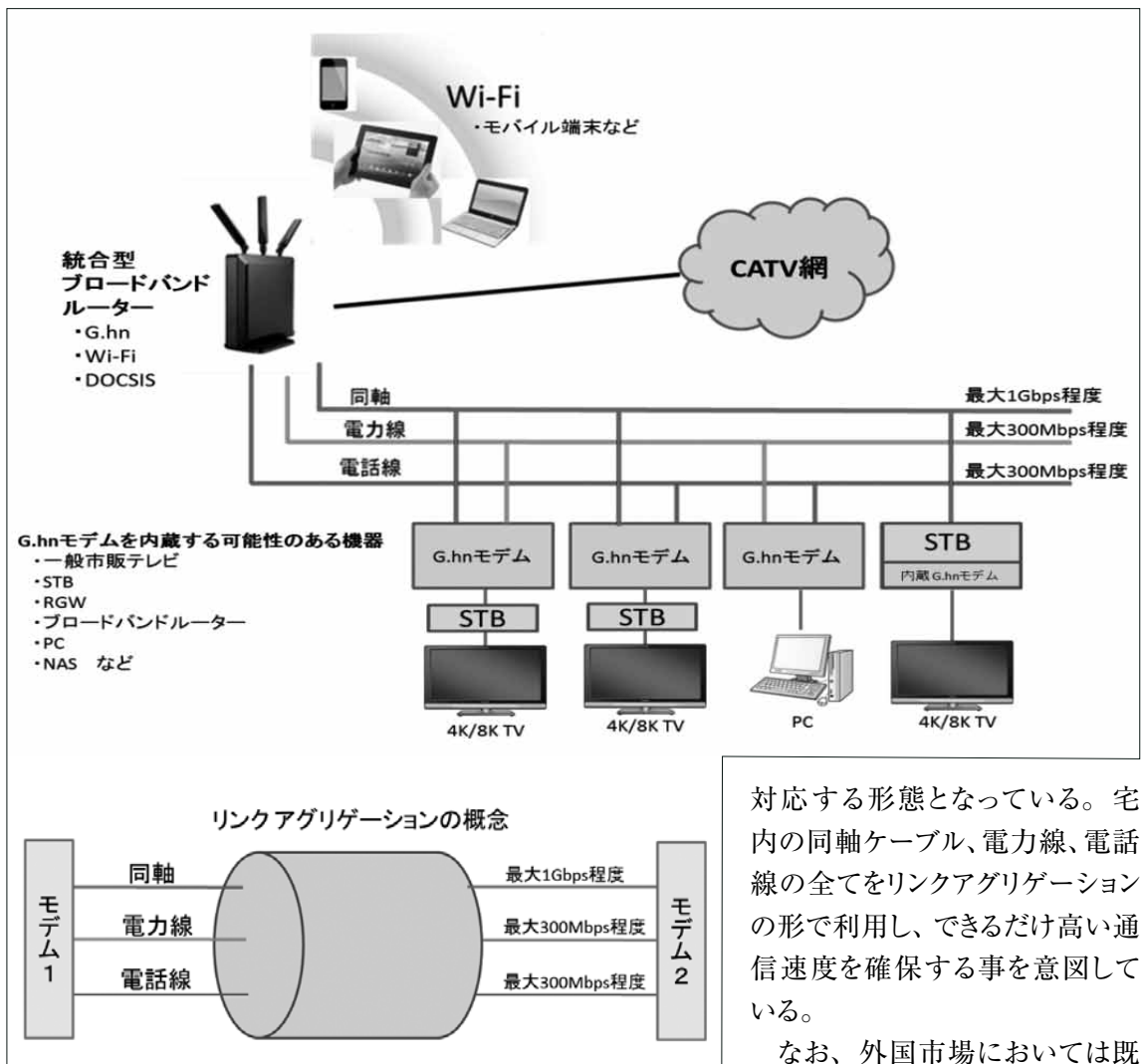


図6 G.hnの利用事例

対応する形態となっている。宅内の同軸ケーブル、電力線、電話線の全てをリンクアグリゲーションの形で利用し、できるだけ高い通信速度を確保する事を意図している。

なお、外国市場においては既にG.hnモデムなどの製品を入手

できる状況であるが、国内向けにはまだ製品化されていない。

4.2 無線 LAN IEEE 802.11ac (Wi-Fi)

現実的なホームネットワーク方式としては、無線方式であるWi-Fiが有望である。特に日本においては、木造住宅が多く住宅規模が比較的小さいといった事情により、Wi-Fiの適合性は高い。その中でも最新規格であり4K/8KサービスのIP伝送に必要なギガビット級の速度を発揮できる802.11acは有利であ

る。方式概要と、従来方式である802.11nとの比較は、表5の通りである。

4×4:3×SS (4×4 MIMO、3空間ストリーム～SS)、8×8:3×SSのようなアンテナ数や空間ストリーム数の多いMIMO構成、80MHz、80+80MHz、160MHzのような十分に広い帯域を利用すると、ギガビット級の速度を達成できる。ただし、これまでのWi-Fi製品がそうであったように、広範な機能を段階的に製品に実装されてくるため、802.11ac対応製品であってもどこまでの機能がサポートされているのか確認が必要である。

方式	802.11ac (Wave2)	802.11n
総合伝送速度	最大6.9Gbps	最大600Mbps
使用周波数	5GHz帯のみ (5.15～5.35GHz/5.47～5.725GHz) W52/W53/W56 (屋外使用はW56のみ可)	2.4GHz帯 5GHz帯 (5.15～5.35GHz/5.47～5.725GHz) W52/W53/W56 (屋外使用はW56のみ可)
変調方式・符号化率	OFDM/256QAM 5/6 (より低速の変調方式あり)	OFDM/64QAM 5/6 (より低速の変調方式あり)
帯域幅	20、40、80MHz (オプションで80+80MHz、160MHz)	20、40MHz
ストリームごとの伝送速度 (チャンネル幅ごとの最大値)	86.7M/200M/433.3M/866.7Mbps	72.2M/150Mbps
MIMO 空間ストリーム数	1～8本 (1クライアントに対しては最大4本) マルチユーザーMIMO対応	1～4本 (シングルユーザーMIMO)

表5 5GHz帯を使用するWi-Fiの概要

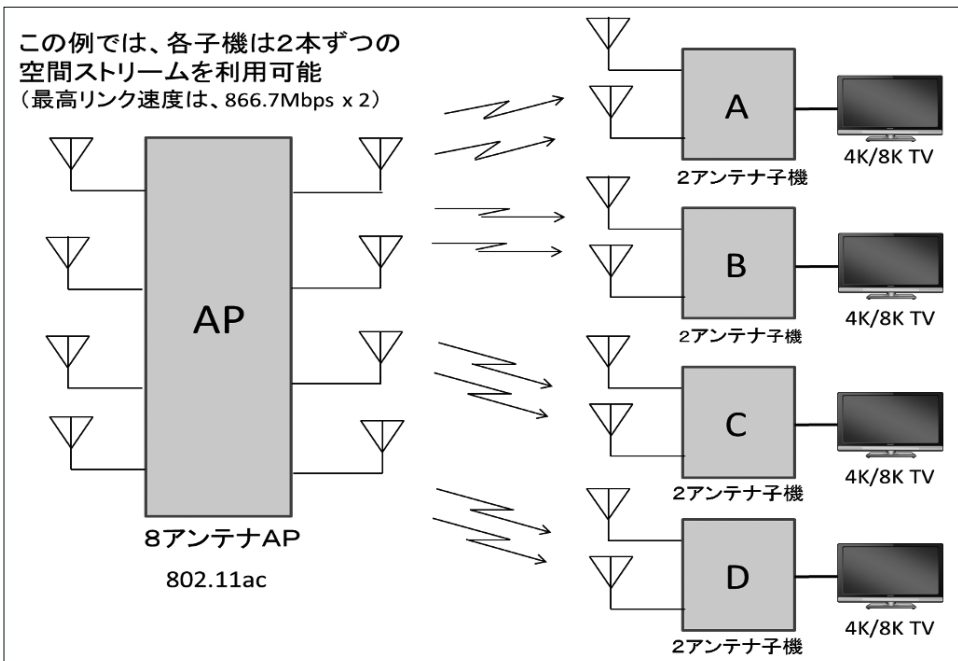


図7 マルチユーザーMIMOの動作

802.11ac Wave2で追加された「マルチユーザー MIMO」機能が有り、図7に示すように複数の端末に対して独立した空間ストリームを使用し、LANスイッチ的な動作を行う。Wi-Fi系全体の性能向上が可能であり、複数台の同時視聴にも対応できる。この例では全ての子機に対して2x2のマルチユーザー MIMOとして動作し、最大866.7bps x 2で動作するため、規格上は4K/8Kサービスの4台同時視聴が可能となる。

マルチユーザー MIMOと共に使用可能な

「ビームフォーミング」技術は、受信側(Wi-Fi子機)からのフィードバックを受信した上で送信側のパラメータを調整する。送信側ではアンテナを複数使用し、それらに位相差給電を行うことにより、任意の方向の送信電界強度を強めることが可能である。他の方向については送信電界強度を弱め、電波干渉を軽減する。アンテナ指向性が向いている方向においては、2.5 dB程度のSNR改善効果があり、Wi-Fiエリア内の中距離の下り通信速度の向上に寄与する。

第5章 無線LAN環境の改善

Wi-Fiではアクセスポイントからの距離が遠い場合や外部からの干渉波が存在するとCN比が低下し、十分な通信速度を達成できなくなる。また、アクセスポイントからの距離のみならず壁・床などの障害物による電波の減衰が戸建て住宅の規模でも顕著である。4K/8Kサービスへの対応になると、必要な通信速度が非常に高くなるため、Wi-FiでのLAN構築には厳密な設計と管理が望ましい。

Wi-Fi環境の改善を目的としてWi-Fiルーターの多段接続が想定され、それに伴いIPネットワークを改善するアプローチも必要である。IPv6環境を考慮済みであり拡張性が高く、かつ利用者にとって使い勝手の良いホームネットワークのアーキテクチャーである「HIPnet」が、IETFや米国CableLabsにおいて検討が進められている。図8のような多段接続、機器の自動検出、IPv6/RA^{※2}と

IPv4/DHCPの同時サポートなど、多彩な自動設定機能を有している。このように複数のWi-Fiルーターを配置して電波到達範囲を拡大し、あわせて機器設定や管理作業の複雑化も回避するアプローチとなっている。

※2 Router Advertisement: ルーター広告

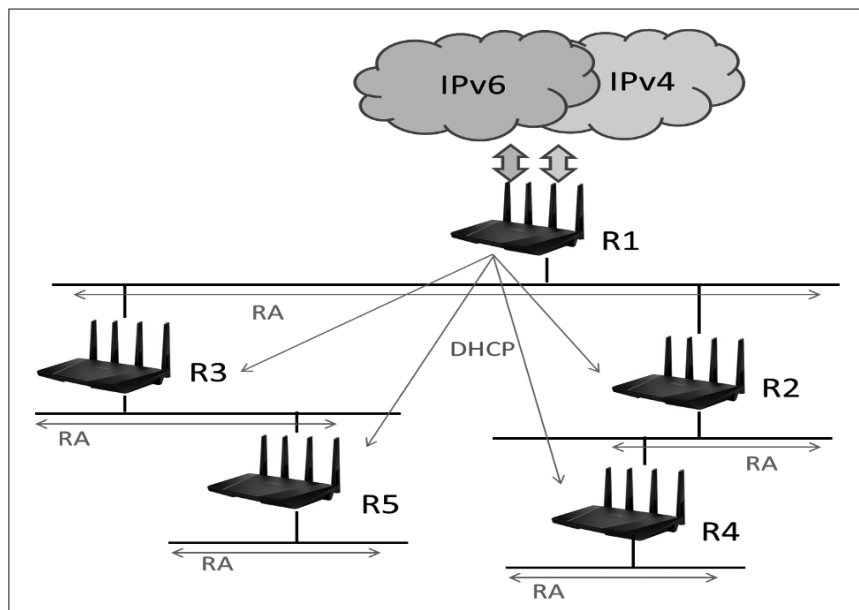


図8 HIPnet利用事例:ルーターの多段接続

まとめ

本号で述べたとおり、4K/8Kサービスの時代になるとアクセス回線やホームネットワークの高速化や安定化は必須である。

アクセス回線は、第3章で述べた新規伝送方式を採用することにより、8Kサービスまで対応可能な高速化が達成できる。ホームネットワークについては、第4章で述べたように固定した場所での利用であれば有線LAN接続

(IEEE 802.3) が4K/8Kサービスの視聴には優れているが、新規配線工事を伴うという課題が有り、G.hnのような既存配線を利用する方式が代替案としてある。無線LANの場合、5GHz帯を使う最新の802.11acを用い電波環境の改善に配慮することで4K/8Kサービスに対応したホームネットワークを構築できる。

【参考資料】

総務省4K・8Kロードマップに関するフォローアップ会合

http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/kenkyu/4k8kroadmap/

総務省 情報通信審議会 情報通信技術分科会 放送システム委員会 ケーブルテレビUHD TV 作業班 報告(素案)

www.soumu.go.jp/main_content/000321741.pdf

ITU-T J.183

<https://www.itu.int/rec/T-REC-J.183-200103-I/en>

8Kスーパーハイビジョン 国内最大のケーブルテレビ施設での伝送実験に成功 (NHK報道資料)

http://www.nhk.or.jp/pr/marukaji/pdf_ver/369.pdf

ITU-T J.382

<https://www.itu.int/rec/T-REC-J.382-201401-I>

CableLabs (Featured Technology, DOCSIS 3.1)

<http://www.cablelabs.com/innovations/featured-technology/>

Video Over DOCSIS (VDOC) Tutorial

https://www.nanog.org/meetings/nanog48/presentations/Sunday/Riddel_VDOC_N48.pdf

HomeGrid Forum

<http://www.homegridforum.org/>

G.hn TRANCEIVER (MARVELL)

<http://www.marvell.com/in-home-networking/ghn/>

G.hn Solutions (SIGMA DESIGN)

<http://www.sigmadesigns.com/media-connectivity/g-hn-solutions/>

Wi-Fi Alliance (802.11ac)

<http://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/wi-fi-certified-ac>

inSSIDer 3.1.2.1

<http://www.techspot.com/downloads/5936-inssider.html>

Greenlee Communications

<http://www.greenleecomunications.com/>

ekahou

<http://www.ekahou.com/>

HIPnet Demo at IETF 86 Bits-N-Bites

<https://www.youtube.com/watch?v=3SvhtLI8aTg>