Technical
Survey

技術解説

60GHz帯非圧縮ハイビジョン 無線伝送システム

正会員 鴨田 浩和[†], 岡部 聡[†], 泉本 貴広[†]

ミリ波は、周波数帯域幅が広く、高速・大容量の情報伝送が可能であり、波長が短いことから機器の小型・軽量化が容易である等の特徴を有している。2000年7月に60GHz帯が無線局免許の不要な帯域として制度化されたことにより、ミリ波伝送機器の実用化が進んできている。ここでは、ダイバーシチや多数決判定技術を用いることで、非圧縮ハイビジョン信号の移動伝送を可能とした60GHz帯のミリ波無線伝送システムについて解説する。

キーワード：60GHz帯，ミリ波，HDTV，非圧縮，ダイバーシチ，多数決判定

1. ま え が き

2000年12月に衛星デジタル放送，2003年12月に地上デジタル放送が開始されて以来，ハイビジョン番組の普及が進んでいる。番組制作の現場においても，ハイビジョン機器の導入が急速に進められている。

ハイビジョン信号（HD-SDI信号）は，約1.5Gbpsの伝送レートを持ち，広帯域な信号であるため，無線伝送する際は，通常は符号化によって情報圧縮を行わなければ伝送できない。例えば，中継現場から映像・音声を放送局まで伝送するためのFPU（Field Pick-up Unit）やSNG（Satellite News Gathering）では，映像符号化方式としてMPEG-2を用いて20～60Mbps程度に信号を圧縮している。

さらに最近では，ケーブルの敷設が困難な場所から容易に中継できることや，ケーブルに縛られずに動き回れる便利さから，MPEG-2を用いたマイクロ波帯のワイヤレスカメラが，ゴルフ中継，陸上競技，サッカーなどのスポーツ中継においてよく利用されるようになってきている。

しかし，映像符号化方式として従来から主流となっているMPEG-2を用いた無線伝送システムでは，映像信号の圧縮，伸張プロセスに伴って生じる遅延が大きな問題となっている。特に，生中継に使用される場合には，他のケーブルカメラとの映像切替えが困難になる。例えば，ケーブルカメラの映像が，選手のゴールした瞬間を捉えているにもかかわらず，ワイヤレスカメラの映像では，まだゴールしていないといった不自然な映像切替えとなってしまう。

MPEG-2以外の低遅延の符号化方式で応用の可能性のあるものとして，HDCAM VTRやDVC-PRO HDに使用されている符号化方式や，JPEG2000等があるが，これらは，遅延が比較的少ないものの，伝送容量が100Mbps程度あるい

はそれ以上となり，マイクロ波帯の既存の周波数帯域を使用することを考えると，所要の伝送容量が大きすぎる。FPUの場合，1チャンネルあたりの帯域幅は18MHzであり，64QAMの変調方式を用いても，伝送容量は約60Mbpsが限度となる。

ミリ波帯の電波を用いれば，100Mbps程度の伝送容量であれば，十分に伝送可能であり，上記の符号化方式などを用いた低遅延の無線伝送システムを実現できる。あるいは，非圧縮のハイビジョン信号が伝送可能なポテンシャルをもっている。ここでは，最近スポーツ中継で利用されている，選手とともに併走するレールカメラや，競技会場に張られたワイヤ上を走行する空中走行カメラなど，特に生中継でケーブルカメラとの自然な切替えが切望されている移動カメラへの応用を目的として，NHKが開発したミリ波ハイビジョン無線伝送システムを紹介する。2章でミリ波を利用したハイビジョン伝送の最近の動向について簡単に説明し，3章で本システムの概要を述べる。4章では，トリノオリンピック・スピードスケート競技に使用されたレールカメラへ本システムを適用した事例を紹介する。

2. ミリ波を利用したハイビジョン伝送の動向

ミリ波帯（30～300GHz）電波は，周波数帯域幅が広いため，高速・大容量の情報伝送が可能であり，また波長が短いことから，アンテナや回路部品が小さくて済み，機器の小型・軽量化が容易である等の特徴を有している。このため，非圧縮ハイビジョン信号をコンパクトな伝送機器を用いて伝送することが可能であり，番組制作の立場からみても魅力的である。

2000年2月の電気通信技術審議会からの答申を踏まえて，55GHz帯（54.25～55.78GHz）と60GHz帯（59～66GHz）の二つの周波数帯が利用可能となった¹⁾。55GHz帯は放送局専用の番組素材中継回線として認められたものであり，現在，MIMO技術を使用した伝送容量が約160Mbpsのスタジオ用

[†] 日本放送協会

"60GHz-band Uncompressed HDTV Wireless Transmission System" by Hirokazu Kamoda, Satoshi Okabe and Takahiro Izumoto (NHK, Tokyo)

のワイヤレスカメラの検討が進められている²⁾。一方、60GHz帯は高速無線LANや小型の画像伝送システムなど一般用途向けに使用が認められており、無線局免許を不要とする特定小電力無線局を使用することができる。これにより、民間レベルでのミリ波伝送機器の開発・利用が進んでいる。ハイビジョンの伝送に注目してみると、固定伝送用途ではあるが、遅延がなく符号化による画像劣化もない約1.5GbpsのHD-SDI信号の伝送が可能な装置^{3) 4)}がすでに実用化されている。

3. 非圧縮ハイビジョン無線伝送システム

前章でも述べたように、HD-SDI信号の固定伝送が可能な装置がすでに実用化されているが、マルチパスの影響により受信電力が変動する移動伝送などに、そのまま適用することは困難である。そこで、固定伝送用に市販されている60GHz帯のHD-SDI信号の伝送装置を活かし、ダイバーシチにより、マルチパス対策を施した伝送システムを開発した。本システムは、60GHz帯の送信機、受信機、およびHD-SDIダイバーシチ装置から構成され、移動伝送が可能、設置調整が容易、ローコストなどの特徴をもつ。

3.1 送受信機

送受信機については、市販されている既存のHD-SDI信号の伝送が可能な送信機、受信機に、中継現場での使い勝手を考慮した改修を行った。表1に、送受信機の諸元を示す。送信出力は約10mWである。また、1080/59.94iのほか1080/50iの映像フォーマットにも対応している。図1、図2に送信機、受信機の外観をそれぞれ示す。送受信機ともバッテリーアダプタを搭載し、本体に直接バッテリーを取りつけることができる。送信機への入力、および受信機への出力はBNCコネクタで、直接HD-SDI信号の入出力が可能である。送受信機ともコンパクトな筐体となっており、カメラねじ(UNC 1/4-20)またはVアタッチメント(EV-5)のどちらかで三脚等に固定が可能である。アンテナは、コンパクトで高利得が得られる誘電体レンズアンテナを用いた。送信アンテナの利得は25dBi、受信アンテナは35dBiであり、100m以上の伝送が可能である。受信アンテナを高利得のものに換えることにより、さらに伝送距離を伸ばすことが可能である。

ただし、この送受信機を対向で伝送すると、直接波と床や壁からの反射波の合成により、受信電力が落ち込む送受信点間距離が存在する。図3は、その一例として、送信機の高さを30cm、受信機の高さを30cmとして、送信機的位置を送信機と受信機を結ぶ直線上で移動させた場合の受信電力を測定した結果である。実験は屋外で、反射波としては、ほぼ大地反射波のみと考えられる環境で行った。図より、受信電力が極端に落ち込んでいるヌルポイントが数箇所あることがわかる。すなわち、送信機が移動する間、マルチパスフェージングが発生し、数箇所伝送が途切れることを表しており、安定した伝送が確保できない。ところ

表1 送受信機の諸元

中心周波数	約60.3GHz
送信出力	約10mW
変調方式	ASK
帯域幅	約2.5GHz
伝送ビットレート	約1.5Gbps
入出力信号	HD-SDI(1080/50i, 1080/59.94i)
重量	約1.2kg(アンテナ含まず)
寸法	約110×110×150mm(アンテナ含まず)
消費電力	約10W(送受信機とも)

図1 送信機

図2 受信機

図3 大地反射波による受信電力への影響

図4 受信点の高さによる受信電力の変動の違い

図5 HD-SDIダイバーシチ装置

図6 HD-SDIダイバーシチ装置のブロック図

が、図4に示すように、これらのヌルポイントは受信機の高さによって変化することから、高さを変えて設置した複数の受信機を用いて、ダイバーシチ合成することにより、途切れない安定した伝送が可能であることが予想できる。

3.2 HD-SDIダイバーシチ装置

複数の受信機から出力されるHD-SDI信号から、伝送誤りのない信号を選択し、さらにすべての受信機の受信電力

が低下した場合に伝送誤りを軽減できるように、多数決判定方式による誤り訂正機能を付加したHD-SDIダイバーシチ装置(図5)を開発した。

図6に、HD-SDIダイバーシチ装置のブロック図を示す。

最初に伝送経路、ケーブル長等の違いによる受信機1から3の出力のHD-SDI信号のタイミングを合わせるためのバッファがある。次に、三つの入力信号は多数決判定による誤り訂正ブロックに入力され、ビットごとに多数決判定が行われ、結果が出力される。そして、元の入力信号と多数決判定後の信号のすべてについてCRCの検査を行う。その結果をもとに、次のスイッチでCRCエラーのない信号を1ラインごとに選択して出力する。このHD-SDIダイバーシチの処理遅延は、約1TVライン時間である。

本ダイバーシチ装置によって、マルチパスフェージングを伴う移動伝送においても安定した伝送が可能となった。さらに、多数決判定による誤り訂正機能により、伝送距離が伸びることも期待できる。

4. トリノ・オリンピックでのスピードスケート競技・レールカメラへの応用

2006年2月に開催されたトリノ・オリンピックでは、スピードスケートをはじめとする多くの競技において、世界に配信される国際信号の映像が初めてHDTVとSDTVの一体化制作によって行われることとなった。スピードスケート競技中継においては、躍動感あふれる映像を捉えるために、選手と併走してスケートリンクの外側を高速で走行するレールカメラを使用する。このレールカメラに本システムを適用した。図7に示すように、レールカメラは、バックストレートの中間付近から第2コーナーを経て、ホームストレートの最後まで、リンクの半周以上を走行する。

この走行区間を、バックストレート、カーブ、ホームストレートの三つの区間に分け、それぞれに受信点1・2・3を設けた。それぞれの受信点には、複数の受信機とその出力を合成するHD-SDIダイバーシチ装置を設けた。

送信機は、レールカメラの搬機の上に二つ設置した。図7中に示すように、一つは、バックストレートおよびホームストレートの直線区間用、もう一つは、カーブ区間用である。直線区間用は、レールカメラの進行方向に向けて送信するように設置され、カーブ区間用は、進行方向に対して90°の方向、すなわちカーブの中心に向けて送信するようにした。

これによって、直線区間の受信点は、それぞれの区間の最終地点に、カーブ区間の受信点は、カーブ区間の中心地点の天井に設置することによって、レールカメラの方向に受信アンテナをむける追尾装置なしで安定な伝送が可能となる。

ここで、カーブ区間に用いる受信アンテナについては、図2にあるような、高利得の誘電体レンズアンテナをそのまま使用することはできない。カーブ区間全体の水平180°

図7 スピードスケート・レールカメラへの応用

図8 誘電体漏れ波アンテナの構造

をカバーしなくてはならないため、広角に受信できるアンテナが必要である。ダイポールアンテナのような水平面無指向性アンテナは、利得が不足すること、および、天井からレール軌道を見下ろすコニカルビームが必要となることから適さない。リニアアレイアンテナなど、ビーム幅や放射角度を調整できるアンテナが望ましい。そこで、誘電体漏れ波アンテナを用いることにした。

製作した誘電体漏れ波アンテナは、図8に示すような構造となっている。送信アンテナとして動作を説明すると、矩形導波管から給電されたミリ波は、地導体の上に配置された誘電体ストリップ上を伝搬する。そして、そのミリ波は周期金属板により影響を受け、ブロードサイド方向（地導体表面に対して垂直な方向）に漏れ波として放射される。ここで、周期金属板のスロット周期を変えることにより、放射（ビーム）方向 θ を調整できる⁵⁾。製作した漏れ波アンテナでは、周期金属板を取り外して交換できるようになっているため、数種類のスロット周期のものを用意しておくことで、現場でのビーム方向 θ の微調整が容易にできるというメリットがある。製作した漏れ波アンテナの2次元指向性の測定結果を図9に示す。主ビームがエレベーション方向に -13° 傾いており、天井の受信点2からレールカメラ

図9 誘電体漏れ波アンテナの2次元指向性

図10 トーナメント式にすべての受信機出力を合成

の軌道を見下ろす角度に相当している。ビーム幅は、エレベーション方向約 5° 、アジマス方向約 60° となっており、利得は 18dBi であった。すなわち、この漏れ波アンテナを三つ用いれば、カーブ区間（ 180° ）の受信が可能となる。

カーブ区間の受信点においても、三つの受信機の出力をHD-SDIダイバーシチ装置により合成するが、レールカメラと天井に設置した受信機との間では、反射波が発生しにくい。したがってこの場合、ダイバーシチ装置はマルチパスフェージングを軽減するのではなく、レールカメラがカーブ区間を走行するにしたがって、単純に三つの受信機を順番に切替えていくスイッチとして動作する。

三つの受信点のダイバーシチ装置からの出力信号は、最後にシームレスに切替えられなければならない。そこで、もう一台のダイバーシチ装置をマスタとして用いた。すなわち、図10のように、トーナメント式にすべての受信機出力を一つに合成するというやり方である。これによって、すべての走行区間にわたって、マルチパスフェージングによる受信電力の落ち込みなどの影響を取り除いて、シームレスにHD-SDI信号を伝送できる。

図11～図14に実際の設置状況を紹介します。この伝送システムの導入によって、ハイビジョン信号をほぼ遅延なしで伝送することができ、ケーブルカメラとの自在なスイッチングにより、迫力ある国際信号の映像制作に貢献することができた。

図11 レールカメラと取り付けられた送信機

図13 第2コーナーの天井に取り付けられた受信点2

図12 バックストレートの受信点1

図14 ホームストレートの受信点3

5. む す び

NHKが開発した60GHz帯ミリ波を用いた非圧縮ハイビジョン無線伝送システムを紹介した。市販の装置をうまく活用し、ローコストかつ比較的短期間で、番組制作分野にミリ波を応用したよい一例である。

ミリ波は、非常に広帯域であるというメリットがある反面、電波の直進性が強く、扱いにくいというデメリットもあるが、ベースバンドの信号処理技術やアンテナ等のミリ波技術を駆使することで、他にもアプリケーションに合わせたミリ波伝送システムが構築できると考えられる。今後は、自由にカメラが動き回る低遅延のミリ波伝送システムの実現にむけて、さらなる技術の進展が望まれる。

(2006年10月31日受付)

〔文 献〕

- 1) 電気通信技術審議会：「諮問第107号「60GHz帯の周波数の電波を使用する無線設備の技術的条件」の答申」（2000）
- 2) 古田，池田：「ミリ波モバイル用MIMO-OFDM伝送装置の試作とレイラフェージング環境下での伝送特性の評価」，信学技報，RCS2005-141（2006-01），pp.101-106（2006）
- 3) 川原，沢田，米山：「NRDガイドミリ波無線機を用いた非圧縮HDTVの伝送」，2004年映像学年次大，15-2（2004）

- 4) 岸本，丸橋，伊藤，大畑，濱田，森本，嶋脇：「60GHz帯を利用した非圧縮ハイビジョン映像伝送システム-（1）無線モジュール-」，2005年信学総全大，C-2-136，pp.169（2005）
- 5) 岩崎，池田：「周期金属ストリップ板を用いた指向性切替型誘電体ロードアンテナの検討」，信学技報，A・P2004-232（2005-02），pp.55-60（2004）

鴨田 浩和 1995年，東京工業大学工学部電気電子工学科卒業。1997年，同大学院総合理工学研究科物理情報工学専攻修士課程修了。同年，NHK入局。長野放送局を経て，2001年より，放送技術研究所にて，マイクロ波ミリ波回路の研究に従事。正会員。

岡部 聡 1994年，大阪電気通信大学工学部通信工学科卒業。同年，NHK入局。大阪放送局を経て，1998年より，放送技術研究所にて，放送番組素材移動伝送用UHF・マイクロ波帯デジタル伝送装置の研究開発に従事。現在，同所企画総務（広報）担当。

泉本 貴広 1994年，慶応大学大学院理工学研究科計測工学専攻修士課程修了。同年，NHK入局，長野放送局配属。1998年より，NHK放送技術局報道技術センター（中継制作）に異動。システム・VE担当。2002年度，ロードレース自動切換機の開発で，映像情報メディア学会技術振興賞放送番組技術賞受賞。