実用的な8K単板カメラシステムの開発

Development of the Real-world use 8K Single-chip Cameras

正会員 三橋 政次[†]

Seiji Mitsuhashi[†]

あらまし 2016年8月1日、スーパーハイビジョン(4K・8K)の試験放送が開始された。この試験放送開始に向け、NHKでは8Kスーパーハイビジョン設備の開発や整備を進めるとともに、放送コンテンツ拡充と幅広いジャンルの番組制作に対応するために2種類の単板式8Kカメラを開発した。昨年リオデジャネイロで開催されたオリンピックでは、開閉会式を含むいくつかの競技で使用され、またパラリンピックでは取材用カメラとして使用された。また国内・海外で実施した8Kライブ制作やHDR(High Dynamic Range)による新しい撮影手法にも対応した。本稿ではこれらの単板式カメラについて性能や機能などを報告する。

キーワード: スーパーハイビジョン, 8K, HDR, DG, HLG

1. ま え が き

2016年8月1日、BS17chでスーパーハイビジョン(4K・8K)の試験放送が開始された。この試験放送開始に向け、NHKでは8Kスーパーハイビジョン設備の開発や整備を進めるとともに、放送コンテンツ拡充のためさまざまな8Kの番組制作を進めてきた。幅広いジャンルの番組制作に対応するために、既存の8Kカメラおよびレンズに加えて機動性を重視した小型のカメラやロケなどにも対応する収録装置一体型のカメラを開発する必要があった。

NHKでは、この要望に応えるために2種類の8K単板式カメラを新規に開発した。2015年の4月にラスベガスで開催されたNAB2015では、これらのカメラを初めて展示すると同時に、日本や現地ラスベガスで実施したロケ取材の映像を上映した。また、その年の年末に行われた紅白歌合戦や、翌年の2016年2月に開催されたNFLスーパーボウルなどでは8Kライブ制作を行った。さらにルーブル美術館や西表島でも8Kロケ制作を行い、ダイナミックな映像表現を実現するHDR(High Dynamic Range)による新しい撮影手法にも対応した。

本稿ではこれらの単板式カメラについて性能や機能などを報告する。

2. 8K単板式カメラの開発

NHKではこれまでさまざまな8Kカメラを開発してきた。初代のカメラは2.5型光学系で、CCDセンサを4枚使用したもので、その重量は約80 kgあった。続く第2世代カメラは

初代よりも小型の1.25型光学系を採用し、同じくCMOSセンサを4枚使用したもので、本体重量は32 kgとなった。さらに第3世代では同じ光学系とセンサを用いて20 kgへと小型・軽量化を進めていった。

2013年からは更なる小型・軽量化を目的として、スーパー35 mmセンサを採用した2種類の実用型単板式カメラの開発を行った。一つは肩に載せる運用に適した形状の「ポータブルスタイル」のカメラで、現行のHDカメラと同様の運用性と静音性を目標に開発を進めた。もう一つは小型で、収録装置との一体型運用にも対応可能な「マルチパーパススタイル」のカメラとした。小型のカメラヘッドに複数のユニットを組合せることでさまざまなスタイルでの撮影を可能にした(図1)。

3. 8K単板式ポータブルカメラの装置概要

本カメラは、撮像素子に放送技術研究所開発の3,300万画素CMOSセンサ¹⁾を搭載したポータブルタイプの8Kカメラで、池上通信機株式会社とともに平成25年度から2ヵ年計画で開発を行った。光複合ケーブルを用い、これまでのHDカメラと同等のスタイルで8Kコンテンツ制作が可能となっている。カメラヘッドの重量は8.5 kgに軽量化された。また、静音性を確保するためにカメラヘッドのファン式空冷システムを最適化し、騒音レベル30 dB以下の数値を実現している。

カメラヘッドは、8Kズームレンズ装着時のバランスを考慮して、ショルダー部分にスライド機構を設けて重心位置を変更できる設計とした。また、小型ビューファインダ(以下、VF)はさまざまな撮影スタイルを考慮して上下に別のアングルで取り付けられる機構とした。

カメラコントロールユニット(以下、CCU)内で処理した

2016年7月27日受付, 2016年9月5日再受付, 2016年10月20日採録

[†] NHK放送技術局 制作技術センター 番組制作技術部

(〒150-8001 渋谷区神南2-2-1, TEL 03-5455-4825)

初代カメラ

第2世代カメラ

第3世代カメラ

単板式カメラ① ポータブル型

単板式カメラ② マルチパーパス型

図1 スーパーハイビジョンカメラの歴史

(a) カメラヘッド

(b) カメラコントロールユニット

(c) リモートコントロールパネル

(d) システムエキスパンダ (SE)

(e) 小型コントローラ①

(f) 小型コントローラ②

図2 単板式カメラシステム

映像信号は、8K出力信号、およびダウンコンバートした4K信号と2K信号として出力される。8K出力信号は独自フォーマットであるデュアルグリーン信号（以下、DG）で、1.5G-SDI×16と3G-SDI×8(2出力)の切替えが可能である。VFに表示するCCUからのリターン信号（RET信号）は4K/2Kに対応しており、映像の遅延は最大2フレーム（33 msec）で、運用上問題ないレベルである。

オペレーションコントロールパネル（以下、OCP）は、既存のパネルをベースにボタンやボリュームの配置や機能についてビデオエンジニアと詳細検討し、使いやすい仕様にまとめた。4Kモニター用のエリア選択やフォーカスアシスト制御など、8Kカメラ独特の機能がコンパクトに備えら

れている。

また、スタジオでの運用を想定したシステムエキスパンダ（以下、SE）も併せて開発した。VF拡大表示のエリア選択ボタンやフォーカスアシストのON/OFF制御を配置し、カメラマンによるフォーカス操作をサポートする機構となっている。エリア選択やアシスト機能をOFF/ONできる小型のコントローラをカメラヘッドに接続し、カメラマンの手元での操作にも対応している。また、オリンピックなどの大型スポーツ番組での使用を想定し、箱型望遠レンズを装着するためのL字レンズサポータの開発も進めた。

カメラヘッド、CCU、OCP、SEと2種類の小型コントローラの外観図を図2に示す。

図3 小型単板式カメラシステム

4. 8K小型単板式マルチパーパスカメラの装置概要

本カメラは、ポータブルカメラと同じ3,300万画素8Kセンサを使い、「小型」・「軽量」を重視して設計し、株式会社日立国際電気とともに開発を行った。

カメラヘッドは独自のドッキング方式を採用し、いくつかのユニットと組合せることによりさまざまな形態で運用することが可能となっている。録再機ユニットと組合せた場合は小型の8Kカメラレコーダとして機能する。機動性を生かした報道系取材や、制作番組のロケ等の運用を想定している。録再機ユニットは、容量2TBの専用SSDパックに8Kの1/4圧縮映像とステレオ音声で約40分収録できる仕様である。通常の収録に加えインターバル録画モード（タイムラプス記録）にも対応している。

収録された映像を再生する時は、録再機ユニットを光複合ケーブルでCCUに接続して行う。また、リアルタイムで色補正を行いながら現像処理を行うことが可能である。さらに、専用のバックアップシステムも整備しており、SSDパックに収録された映像と音声をHDDにバックアップすることが可能である。同時期に開発した専用の水中カメラハウジングと組合せて水中で8K解像度の撮影も可能とした。

ライブカメラとして運用する時は、光複合ケーブルユニットと組合せ、CCUと接続する。単板カメラと同様に、CCUからは8K本線出力と4K信号、2K信号を同位相で出力し、8K信号は1.5G-SDIと3G-SDIが切替え可能である。

また、小型カメラアダプタと中継ボックスを用いることでさらに小型・軽量となり、狭い場所での撮影やステディカムなどの防振システムに搭載することが可能となって、8Kコンテンツ制作の幅が広がる。2軸防振雲台装置に装着すれば車載カメラやヘリ搭載カメラとして運用することも可能になる。

カメラレコーダ、ライブカメラ、CCU、リモートコントロールパネル（以下、RCP）の外観図を図3に、2軸防振雲台への装着と、水中カメラハウジングを用いて行った水中撮影の様子を図4に示す。

5. 共通機能

二つのカメラは以下の共通の機能を搭載している。

(a) 2軸防振雲台装置への装着

(b) 水中撮影の様子

図4 小型単板式カメラのさまざまな運用形態

(1) HDR機能

輝度の高いモニタとの組合せでダイナミックレンジの広い映像を実現するHDR機能に対応している。今回の2種類のカメラは、14ビットの広ダイナミックレンジのRAWデータをCCUで10ビットに変換している。その際に、BBCとNHKで共同開発したHLG (Hybrid Log Gamma) に対応した映像を選択することが可能となっている。

(2) 白キズ補正・FPN補正機能

CMOSセンサの白キズ（画素欠陥）を自動的に補正する機能である。オートブラック（ABB）を実行すると本補正を自動的に実行する。またFPN (Fixed Pattern Noise：固定パターンノイズ) の補正も可能となっている。画面全体に画素単位で補正する機能をもつため、より厳密に固定パターンを補正することが可能になっている。

(c) 自動収差補正機能

レンズが持つ固有の収差データを自動的に取得し、信号処理回路で収差を補正する機能である。これまでの8Kカメラでは、事前に専用のパターンを撮影し、いくつかの

ズーム位置で収差のデータを計測するという非常に煩雑な作業が必要だったが、本機能を用いれば自動的にレンズに付随する収差データを取得できる。クローズアップレンズを装着した場合は、OCP (あるいはRCP) 上から別のデータに切替えることもできる。

(4) フォーカスアシスト機能

8K カメラはフォーカス操作が最も大きな課題となっている。特にHD-VFを用いてフォーカスを合せるには限界がある。8K 映像の高域周波数成分から抽出したフォーカスアシスト信号をVF映像に合成することで、カメラマンによるフォーカス調整の操作性を向上できる。本機能は、放送技術研究所が開発した技術を採用している²⁾。

(5) 12軸独立マトリクス機能

さまざまなカメラが混在したマルチカメラの運用では、厳密な色バランス調整に限界が生じる。本機能は12色を独立に調整できるもので、詳細な色調整を実現することができる。3原色のR・G・Bとその補色であるY・Cy・Mg、さらに3原色と補色の間の6色を加えたトータル12色について、色相と彩度の調整が可能となっている。

(6) フランジバック調整機能

カメラはPLマウントのため、映画撮影等で使用されている高画質単焦点レンズが用いられるケースが想定される。単焦点レンズには、通常放送用ズームレンズに内蔵されているバックフォーカス調整機構がない。8K の高精細映像ではフランジバック位置が画質に大きく影響を与えるため、カメラ側にフランジバックを調整するための機構を内蔵させた。

図5 4K 信号用コネクタ (カメラヘッド)

(7) 4K-VF 対応

カメラヘッドに4K-VF 専用コネクタ (図5) を設け、4K-VF の取付も可能にしている。約19mm 径の小型コネクタで4K 信号に対応しているため、スペース確保にも貢献している。4K-VF 側もこのコネクタに対応しているため、ケーブル1本で4K 信号とVF制御信号、さらに電源の重量が可能になった。課題となっているフォーカス操作も、この4K-VF の運用により作業性の向上が図られた。

それぞれのカメラの特長をシステム概要として表1にまとめた。

6. 設備の評価

本カメラの性能を表2に示す。単板式と小型単板式カメラは同じセンサを採用しているため、静特性は同じ特性で

表1 8K 単板式カメラのシステム概要

項目	諸元	
	8K 単板式カメラ	8K 小型単板式カメラ
イメージフォーマット	Super35mm	
撮像素子	3300 万画素 CMOS センサー	
光学システム	PL マウント単板式	
出力信号	8K : DG (1.5G-SDI×16 (1 系統) または 3G-SDI×8 (2 系統)) 4K : 3G-SDI×4 (2 系統) 2K : 1.5G-SDI (4 系統)	
入力信号	4K-RET : 2 系統 2K-RET : 4 系統 SYNC : 3 値または BB 自動判別	
外形寸法	ヘッド : 168×278×395mm CCU : 482×478×222mm (5U)	ヘッド : 130×130×150mm CCU : 435×402×177mm (4U) 収録ユニット : 130×130×200mm 光複合ユニット : 130×130×256mm 小型光複合ユニット : 130×130×93mm
重量	ヘッド : 8.5kg CCU : 29kg	ヘッド : 3.2kg CCU : 17.5kg 収録ユニット : 3kg 光複合ユニット : 3kg 小型光複合ユニット : 1.5kg
消費電力	ヘッド+4K-VF+CCU : 480VA 以下 ヘッド+2K-VF+CCU : 420VA 以下	ヘッド+4K-VF+CCU : 480VA 以下 ヘッド+2K-VF+CCU : 420VA 以下
特長	・ポータブルカメラヘッド ・静音設計のカメラヘッド ・手元リモート装置	・超小型カメラヘッド ・タイプラプス収録 ・水中撮影対応

表2 8K単板式カメラの性能

項目	8K カメラ (単板式カメラ, 小型単板式カメラ)	HD カメラ	備考
S/N	62dB	60dB	8KカメラはHD信号に変換(ダウンコンバート)して測定
感度	F8.0	F10.0	2000lxの光源で測定
限界解像度	約4000TV本	約1000TV本	
ダイナミックレンジ	400%以上	600%程度	8Kカメラのダイナミックレンジは200%と400%を選択可能

図6 ラスベガス市内の8Kロケ

ある。比較として現行のHDカメラの特性を併記した。

従来の8Kカメラに比べ、大幅に性能向上を図ることができ、限界解像度は8Kカメラとしての理想的な解像度に近い4000TV本を達成した。その他、感度やダイナミックレンジに関してもHDカメラの性能に近づけることができた。

7. 機器展示・運用例

2015年4月にラスベガスで開催されたNAB2015のNHKブースで、今回開発した2種類の8Kカメラを初めて展示した。この展示では、機器本体とともに事前に小型単板式カメラをステディカムに搭載して収録し(図6)、日本の桜や夜景の8K映像を紹介した。また、現地のラスベガスでも同様のスタイルでロケを行い、最新の8Kコンテンツとして映像を公開した。

NHKブースへの来場者からは、現行のHDカメラと同等のポータブルスタイルでの収録が可能になったことや、静音性の高さなどについて賞賛をいただくとともに、その映像のクオリティの高さに驚かれていた様子で、「空気のゆらぎまで捉えるなど解像感、臨場感が素晴らしい」との声をいただいた。

同じ年の暮に、NHK紅白歌合戦にて両カメラを用いてライブ撮影を行い、港区、横浜、千葉、京都の4箇所でも8Kパブリックビューイングを行った。さらに2016年の3月に開催された第50回NFLスーパーボウルでも同様に8Kパブリックビューイングを実施した。

また、ルーブル美術館では小型単板式カメラをカメラレコーダ仕様で運用し、ロケスタイルで8K映像の撮影を行った。この撮影では、広いダイナミックレンジで効果的な撮影ができるHDR機能を用いた。さらに北海道や沖縄での国内のロケでも本機能を使った収録を行い、これらの

映像を2016年にラスベガスで開催されたNAB2016にて8Kコンテンツとして展示した。

8月5日にブラジルで開催したリオデジャネイロオリンピックでは、開閉式や柔道などいくつかの競技で使用し、8Kの高画質映像を日本国内に提供した。またその後開催されたパラリンピックでは、カメラレコーダで8K映像の収録を行った。

8. 今後の課題

現在の8K出力は、センサのベイヤーサンプルに対応した特殊な信号形式であるDG信号となっているが、今後はフル解像度信号の8K59.94P(輝度・色差信号YCbCr 4:2:2)に対応する必要がある。そのため、カメラのソフトおよびハード面での改修を予定している。

フル解像度信号を3G-SDIで実現する場合は16系統必要になる。そのため、技術進歩の動向を鑑みながら、運用性や機動性を考慮して12G-SDIやIPなどの次世代インタフェースの採用を検討していく必要がある。

9. むすび

今回、新しく開発した2種類の8K単板式カメラについて紹介した。カメラメーカーと現場のカメラマンやビデオエンジニア、放送技術研究所担当者とともに、現行HDカメラと同様の機動性・運用性を重視しつつ、8K本来の性能を発揮できるカメラを開発することができた。今後は、深海での8K撮影やヘリなどを用いた空撮などさまざまなジャンルの8Kコンテンツ制作に貢献していきたい。

最後に、今回のカメラ共同開発に携わった池上通信機株式会社、株式会社日立国際電気の関係者皆様に感謝を申し上げます。

〔文 献〕

- 1) T. Yasue et al: "A 1.7-in, 33-Mpixel, 120-frames/s CMOS Image Sensor with Depletion-Mode MOS Capacitor-Based 14-b Two-Stage Cyclic A/D Converters," IEEE Trans. Electron. Devices, 63, 1, pp.153-161 (Jan. 2016)
- 2) 船津, 山下, 三谷, 野尻: "スーパーハイビジョンカメラ用フォーカス補助信号", 映像学誌, 65, 4, pp.531-539 (2011)

三橋 政次 1995年、慶應義塾大学理工学研究科計測工学専攻修士課程修了。同年、NHK入局。放送技術局を経て、2003年より技術局にて近赤外線対応超高感度カメラや月周回衛星用カメラ、スーパーハイビジョンカメラなど、主にカメラ開発に従事。現在放送技術局副部長。正会員。