

8Kイメージングソリューション

– 有機積層型イメージセンサを用いたマルチパーパスカメラの開発とROI切り出し機能 –

8K Imaging Solution – Multipurpose Camera and ROI Extraction Function using Organic Photoconductive Film CMOS Image Sensor –

布施 彰一
Shoichi Fuse
千秋 久子
Hisako Chiaki

西村 佳壽子
Kazuko Nishimura
三 鼓 正 則
Masanori Mitsuzumi

元 田 一 真
Kazumasa Motoda
打 井 裕 基 一
Yukihito Uchii

要 旨

世界初の8K有機センサを搭載した8Kカメラシステムを開発商品化した。有機薄膜を光電変換部に用いた独自の積層構造により、効率的な光電変換と電荷蓄積を両立し、8K高解像度と広ダイナミックレンジ、速い動きにも動体歪（ひず）みのないグローバルシャッタの同時実現を可能とした。小型軽量のカメラユニットと光ファイバケーブルで接続する信号処理ユニットからは、8K/4K/HD映像出力が可能で幅広い用途に対応するマルチパーパスカメラを実現した。また、8K撮影画像から任意の4K/HD領域をリアルタイムで切り出し可能な「8K ROI (Region of Interest) 技術」を開発し、スタジアムを少人数でマルチアングル撮影編集可能とした。

Abstract

We developed and commercialized the world's first 8K camera system equipped with an 8K organic photoconductive film Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS) image sensor. A stacked structure using an organic thin film for the photoelectric conversion unit achieves both efficient photoelectric conversion and charge storage, an 8K high resolution, wide dynamic range, and a global shutter with no motion distortion even in fast movements. And a multi-purpose camera capable of outputting 8K/4K/HD images from a signal processing unit connected to a small and light camera unit with an optical fiber cable has been achieved for a wide range of applications. In addition, we developed "8K Region of Interest (ROI) technology" that can cut out an arbitrary 4K/HD region in real time from an 8K captured image and made it possible to carry out multi-angle shooting and editing of the stadium with a small number of people.

1. はじめに

当社の放送用映像ソリューションはオリンピック・パラリンピックとともに発展してきたと言っても過言ではない。56年ぶりに日本で開催される東京2020オリンピック・パラリンピック競技大会にさらなる進化でご期待にお応えするべく、8Kイメージングソリューションの開発を行った。その進化を報告する。

2. 有機薄膜を用いたCMOSイメージセンサの開発

筆者らは、有機薄膜を用いた新たな積層型の画素構造を用いることで、従来のシリコンイメージセンサでは実現できなかった高解像度、高飽和、グローバルシャッタ機能を同時に実現可能なCMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) イメージセンサの開発を行った。特に今回の8K4K CMOSイメージセンサの開発においては、3200万画素の高解像度、4.5万から45万電子の高飽和、60 fps (frames/s) フレームレートを同時実現可能とした。また本センサは、ローリングシャッタモードとグローバルシャッタモード、両モードでの利用が可能であり、高速、高精細が必要とされるイメージング、センシング分

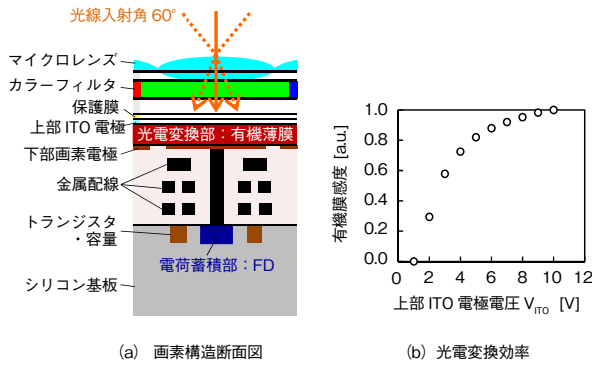
野への活用を期待できる。

2.1 有機イメージセンサの画素構造

まず始めに、有機イメージセンサの画素構造を第1図(a)に示す。有機イメージセンサの画素構造は従来シリコンセンサの画素構造とは異なり、光電変換部である有機薄膜と電荷蓄積部である浮遊拡散容量 (FD) が完全に独立した構造となっている。そのため、従来はフォトダイオード (PD) のサイズと特性により、感度、量子効率、飽和量が決定されていたが、本構造では、光電変換部と電荷蓄積部をおのおの最適設計することができ、高感度と高飽和を同時に実現することが可能となる。また、シリコン領域において、受光のための面積圧迫なく広い回路領域を確保可能なため、回路自由度が高まり、高速化、広ダイナミックレンジなどを実現することができる。

次に、光電変換動作について説明する。センサに入射した光は画素ごとに設けられたマイクロレンズ、カラーフィルタを介して有機光電変換膜 (有機薄膜) に吸収され、電子正孔対が生成される。発生した正孔は有機光電変換膜、正確には、有機光電変換膜上部の透明電極ITO (Indium Tin Oxide) と有機光電変換膜下部の画素電極間に印加される電界強度に応じて画素電極側に引き抜かれ、

信号電荷としてシリコン基板上に形成したFDに蓄積される。そのときの光電変換効率は、第1図 (b) に示すように、ITO電極に印加する電圧により制御することが可能となる。



第1図 有機イメージセンサの積層型画素構造
Fig. 1 Stacked structure of organic photoconductive film image sensor

2.2 広ダイナミックレンジ技術

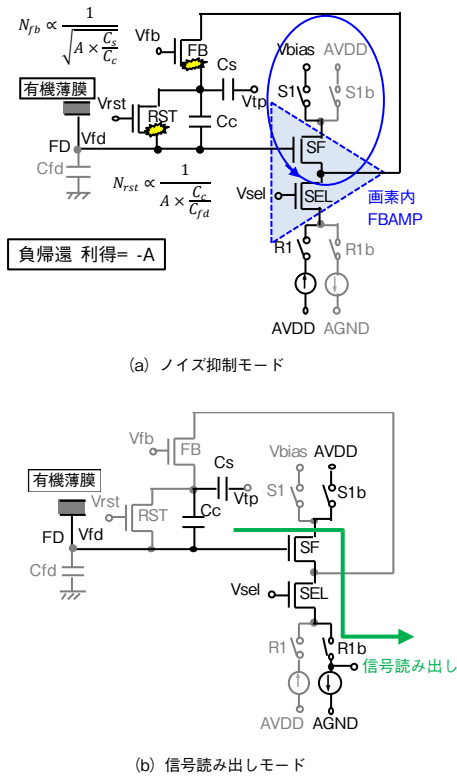
有機イメージセンサの積層構造を活かした、高飽和、低ノイズ特性の実現について述べる。

有機イメージセンサの電荷蓄積部は光電変換部とは完全独立構造のため、電荷蓄積容量を大きく取ることができ、従来のシリコンセンサ比4倍の高い飽和電子数を実現できる。

一方、有機センサの積層構造は集光感度や飽和電子数の拡大に対して有効であるが、光電変換部である有機薄膜と電荷蓄積部であるシリコン基板が金属配線を介して接続されるため、電荷蓄積部の信号電荷をリセットする際に発生するノイズが固有課題となる。さらに、高解像度のセンサにおいては、多画素のノイズを高速抑制する必要があるため、垂直信号線への負荷 (8K4Kセンサでは4000画素の負荷) を考慮する必要がある。そこで本センサでは、電流源以外を全て画素内で構成した「画素内-容量結合型ノイズ抑制回路」を新たに開発、搭載した。

本構成では、3 μm角の狭い画素領域内で、ノイズ抑制機能と読み出し機能を実現するため、ノイズ抑制時にはノイズ抑制用の反転増幅器として動作し、信号読み出し時にはソースフォロアアンプとして動作する、リコンフィギュラブル型画素構成を取る。第2図に画素回路図を示す。新たに開発したノイズ抑制回路では、8K画素のリセットノイズを、2.5 μsの抑制時間で、23電子から2.5電子まで抑制可能となり、センサトータルノイズ4.5電子、飽和電子数4.5万電子、ダイナミックレンジ80 dBを実現する。

明暗差の大きいシーンにおける撮像例を第3図に示す。



第2図 画素内-容量結合型ノイズ抑制回路
Fig. 2 In-pixel capacitive coupled noise cancellation circuit

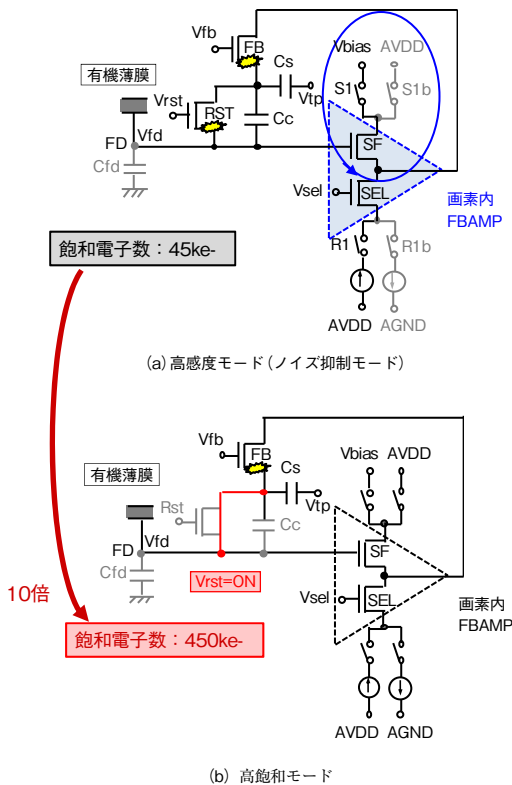


第3図 明暗差のあるシーンでの撮像比較
Fig. 3 Comparison of imaging in a high-contrast scene

従来シリコンセンサでは白飛びをしていた明るい照明や屋外の色合いまで高精細に撮像可能となる。

さらに、このリコンフィギュラブル型画素回路はもう1つのモードを有する。入射光量が少ない場合には、回路はノイズ抑制モードで動作するが、入射光量が大きい場合には、リセットトランジスタのゲート電圧VrstをON状態とし、CsをFDノードに接続することで、FD容量Cfdを大きく設定、高飽和モードでの動作を実行する。今回は、通常モードで4.5万電子、高飽和モードではその10倍の45

万電子の高飽和を実現する（第4図）。



第4図 画素内-容量結合型ノイズ抑制回路
Fig. 4 In-pixel capacitive coupled noise cancellation circuit

2.3 グローバルシャッター機能

従来のシリコンイメージセンサでは、メカニカルなシャッターを用いる、あるいは、画素内にメモリーと転送回路を設けることで全画面一括撮像を可能とするグローバルシャッター機能の実現を図っていた。そのため、構成部品が増える、画素内に追加したメモリー部が光電変換部面積を圧迫し、グローバルシャッター機能搭載時には飽和信号量減少するという課題があった[1]-[4]。

そこで筆者らは、第1図 (b) に示したように、ITO電極に印加する電圧を切り替えるのみで、有機薄膜の光電変換特性を制御することができるという特有の特性を活かし、光電変換制御シャッター技術を開発した。本方式により、画素内にメモリー素子追加の必要がなく、画素面積の拡大、飽和性能の劣化のないグローバルシャッター機能実現が可能となる。

本方式では、露光時、ITO電圧に所定の電圧を印加し、有機薄膜で光電変換された信号電荷をFD部に保持する。一方、遮光時、ITO電圧に所定の電圧よりも低い電圧を印加し、上下電極間の電位差をゼロとし、有機薄膜内に電界が生じない状態とすることで、電氣的にシャッター状態を実現する。ここで、ITO電極は全ての画素に共通に

接続されており、全画素同時走査となるため、グローバルシャッター機能が実現される。その後、遮光状態で行走査を行い、FD部に蓄積された信号電荷を順次読み出す。さらに、有機センサでは、光電変換部と電荷蓄積部が縦構造のため、遮光が容易であり、-100 dB以下という、従来シリコンセンサに対して優位な寄生感度抑制が実現できる。

第5図に、おのおのの駆動モードで、高速道路の対向車線を撮像した場合の撮像例を示す。ローリングシャッターモードでは、行ごとに順次シャッターをかけるため、距離と相対速度に応じたシャッター歪(ひず)みが生じるが、グローバルシャッターモードでは全画面同時にシャッターをかけるため、行間で歪みのない、瞬間を切り取った撮像が可能となる。



第5図 高速物体:高速道路の対向車線 撮像例
Fig. 5 Image of a high-speed object at an oncoming lane of highway

3. 8Kマルチパーパスカメラ

3.1 市場動向 ターゲット市場

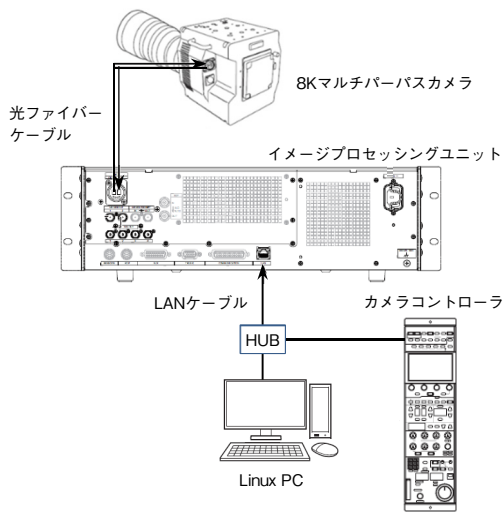
2018年12月、日本において本格的に8K放送が開始された。現行HD放送の16倍の画素数による映像の高精細化だけでなく、広色域化・高速化・多階調化・広ダイナミックレンジ化により、さらなる高臨場感の映像表現を可能にしている。

一方、海外に目を転じると、必ずしも8K放送の準備が進んでいるわけではない。求められているのは、コンテンツの多様化だろう。視聴環境や動画配信の多様化は、コンテンツの量的需要を大きく引き上げている。

そこで、前章で述べた新開発の有機イメージセンサの特長を活かし、さらに次章で述べるROI (Region of Interest) 技術を搭載した、新しいカメラシステムを開発した。多用途に応用できるように、カメラ部を小型化したマルチパーパスカメラである。

3.2 商品概要・商品の特徴

本8Kカメラシステムは、第6図に示すように、8Kマルチパーパスカメラ、イメージプロセッシングユニット



第6図 システム構成
Fig. 6 System configuration

(IPU), カメラコントローラ, フレーミング制御ソフトウェアをインストールしたLinux^(注1) PCで構成される。Linux PCはROI制御の際に必要であり, 8K単独撮影時は不要となる。

8KマルチパスカメラとIPUは, 光ファイバケーブルで接続され, IPUより映像が出力される。

8Kマルチパスカメラは, Super35 mm有機センサを搭載したPL (Positive Lock) マウントのモデルと, より広角撮影しやすいFull35 mmCMOSセンサを搭載したEF (Electro-Focus) マウントのモデルの2種類を用意した。

IPUは, 8K/4K/HDを同時出力も可能な構成となっている。8Kマルチパスカメラを小型化するため, 多くの映像信号処理はIPUで実現している。

4. 8K ROI システム

4.1 コンセプト

昨今の映像視聴環境は, 地上波放送だけでなく, BS, CS, インターネット配信など, 多種多様に広がっており, 同時にコンテンツ制作の需要が急激に高まっている。

そこで, 今回, 高精細の8Kカメラを用いてライブ収録, スポーツ中継を効率化, 省力化する8K ROIカメラシステムを開発した。

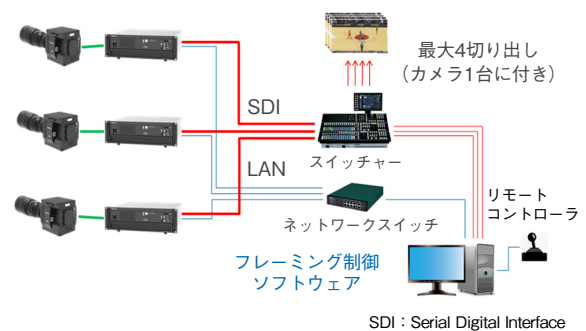
本システムは, 第7図, 第8図に示すように, 高精細, 広画角の8Kカメラ映像から最大4枠のHD映像を切り出し, それぞれをフレーミング (パン・チルト・ズーム操作) 可能にすることで, 1台の8Kカメラを4台のHDカメ

(注1) Linus Torvalds氏の日本およびその他の国における登録商標または商標。

ラとして運用できる。また, オペレーターの操作をAI技術を用いて自動化し, さらなる省力化の実現を目指す。



第7図 切り出し処理
Fig. 7 Cropping method

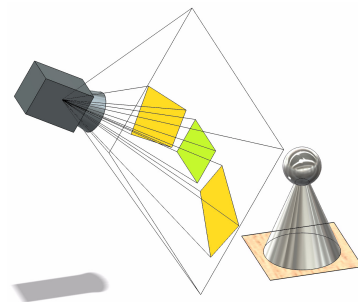


第8図 8K ROIシステム構成図
Fig. 8 8K ROI system diagram

4.2 広角歪み自動補正技術

ROI機能の特長は, 広角レンズで撮影した8K映像から, 単に矩形 (くけい) 領域を切り出すのではなく, あたかも仮想のHDカメラでフレーミングして撮影したかのような自然な映像を切り出す点にある。つまり, 第9図のように俯角 (ふかく)^(注2) を付けて広角撮影した映像の一部を切り出す際に, 傾きや広角歪みをリアルタイムに補正してHD映像を出力する。

この広角歪みの補正には, 8Kカメラと, 仮想HDカメラの状態を表す情報が必要になる。



第9図 広角画像からの切り出し
Fig. 9 Cropping on a wide angle image

(注2) 水平を基準とした下向き角度のこと。

8Kカメラに必要なセッティング情報は以下のとおり。

- (1) 設置角度（撮影俯角）
- (2) レンズの画角（焦点距離，例えば16 mmなど）
仮想HDカメラに必要な撮影情報は以下のとおり。
- (3) 水平方向の向き（パン角度）
- (4) 垂直方向の向き（チルト角度）
- (5) レンズの画角（焦点距離，例えば70 mmなど）

(1)は8Kカメラに内蔵した加速度センサから取得し，(2)は装着レンズから取得・設定するもので，8Kカメラを設置すると定まる。一方(3)(4)(5)は，LAN接続した各種コントローラによる仮想HDカメラのフレーミング制御に基づいて，フレームごとに更新される。

(1)~(5)が決定することで視心^(注3)変換の計算式が決定するので，ソフト（マイコン）で計算式の係数部分を計算し，計算式を実装したハード（FPGA：Field Programmable Gate Array）に係数を設定する。ハードでは出力映像を構成する画素ごとに，8K映像における画素位置（実数）を計算し，その画素位置での画素値を二次元補間で求めて切り出しHD映像を作り出す。

これにより，スムーズなフレーミングを実現する毎秒60コマのリアルタイムでの切り出しを可能にした。

4.3 フレーミング制御ソフトウェア

本ソフトウェアは，1つの切り出し枠のフレーミング操作に，同一または他のカメラの切り出し枠のフレーミングを連携させるための機能を実現するためのものであり，Linux PC上で動作するアプリケーションソフトウェアである。

Linux PCに接続したコントローラからパン・チルト・ズームのコマンドを受信し，IPUへIPコマンドとして送信することでフレーミング操作を行う。

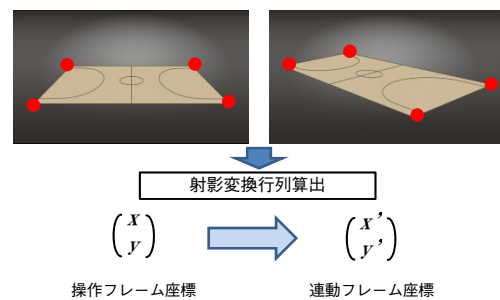
1つのフレーミング操作に他のフレーミングを連携させるため，2つの映像間の対応付けを行う必要があり，第10図に示す射影変換が一般的に利用される。この方式では，フレーミング操作を行うカメラ映像の4点に対し，連動するカメラ映像の同一点を選択することで射影変換行列を求め，射影変換により操作フレーム座標から連動フレーム座標を算出する。

しかし，この方式では，プロカメラマンが要求する緻密なカメラワークに対応できない。例えばバスケットボールの撮影において，メインカメラがセンターライン付近を選択した場合に，サブカメラがいち早くゴール付近を撮影したい，といったケースである。

この課題解決のため，今回，2つの映像間の対応付け

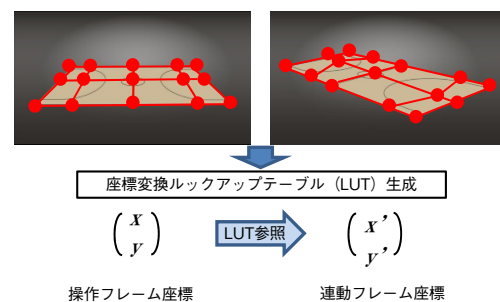
(注3) 視線の向きのこと。カメラの場合は撮影する向きのこと。

に第11図に示す格子状の座標変換ルックアップテーブル（LUT）を導入した。操作するカメラ映像の各場所に対し，連動するカメラ映像で撮影したい場所を対応付け，LUTを生成する。操作フレーム座標をもとにLUTから近傍の格子点座標を参照し，補間処理をすることで連動フレーム座標を算出する。これにより，任意の座標による対応付けが可能となり，上記，4点では対応できなかったプロカメラマンの要求に応えるカメラワークを実現することが可能となった。また，格子点の配置は，GUIで直観的かつ，迅速に行えるよう工夫した。



第10図 射影変換方式

Fig. 10 Projection conversion method



第11図 LUT方式

Fig. 11 LUT method

4.4 オートコンテンツ制作

さらなる省力化として，コンテンツ制作の自動化が求められている。ここでは，深層学習を用いた，俯瞰（ふかん）映像からのオートフレーミング技術について説明する。取り組み対象として，ニーズが高く，他スポーツやイベントにも応用展開可能な，バスケットボールのゲームカメラ^(注4)枠のオートフレーミングを行った。

俯瞰映像からのオートフレーミングに用いる技術としてはいくつかの手法が考えられるが，今回は深層学習モデルを用いて人物とボールを検出し，さらに，それら人物を，審判，各チームのプレイヤーに識別し，プレイヤ

(注4) ゲーム全体の進行を把握することができるように広い画角で撮影しているカメラ。コートの1/3~1/2が映るよう設定することが多い。

ーとボールの位置関係からゲームカメラ枠の位置と大きさを決定している。

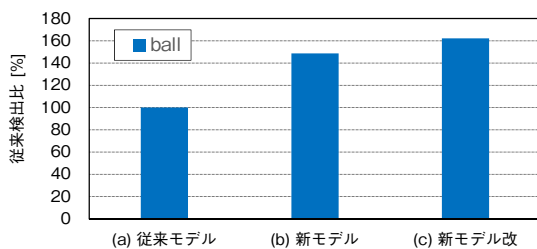
しかしながら、従来の深層学習モデルでは、ボールの検出精度が低く、例えばバスケットボールの速攻プレイでは、ボールを持って飛び出すプレイヤーのフレーミングが追従できないという課題があった。

そこで、今回、リアルタイム処理ができ、検出精度の高い深層学習モデルと、シーンに応じたフレーミング手法を開発した。

第12図に示した従来の深層学習モデル（a：従来モデル）は、人物の検出は十分であったが、ボールにおいては俯瞰映像に対するサイズが小さいため検出しづらかった。そのため、小さい物体の検出に適したアルゴリズムにて新たに深層学習モデル（b：新モデル）を作成し、さらに、高速で検出できるよう深層学習モデルのパラメータ数を削減してチューニングした（c：新モデル改）。

結果、従来方式に比べ、ボールの検出比率を約60%アップし、ボールの位置に応じたフレームの自動追従をリアルタイムで可能とした。

また、違和感なくスムーズに枠を動作させるよう、動き始めに、実際のカメラマンのパニング動作を模したアルゴリズムを開発した。



第12図 深層学習モデル別 検出率比較

Fig. 12 Comparison of the detection rate

5. まとめ

今回開発した8Kイメージングソリューションは、オリンピック・パラリンピックを始めとするスポーツ空間の臨場感をさらに伝えていくことはもちろんだが、映像コンテンツの量的質的需要の拡大や社会の要請である働き方改革に対する映像制作業界への提案でもありと考えている。今後も当社は映像制作業界のお客様に、映像価値向上とともに現場でのお役立ちをしていきたいと考えている。

参考文献

[1] 安富啓太 他, “グローバルシャッターCMOSイメージセンサ

の開発動向,”映像情報メディア学会技術報告, vol.35, no.47, pp.1-8, 2011.

- [2] M. Sakakibara et al., “An 83dB-Dynamic-Range Single-Exposure GlCCobal Shutter CMOS Image Sensor with In-Pixel Dual Storage,” ISSCC Dig. Tech. Papers, pp. 380-381, Feb. 2012.
- [3] B. Wolfs et al., “3.5 μm Global Shutter Pixel with Transistor Sharing and Correlated Double Sampling,” Proc. IISW, 2013.
- [4] T. Kondo et al., “A 3D Stacked CMOS Image Sensor with 16Mpixel Global-Shutter Mode and 2Mpixel 10000fps Mode Using 4 Million Interconnections,” Dig. Symp. VLSI Circuits, pp. C90-C91, June 2015.
- [5] 情報通信審議会, “「視聴環境の変化に対応した放送コンテンツの製作・流通の促進方策の在り方」(平成28年諮問第24号)に関する情報通信審議会からの最終答申,”総務省, http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01ryutsu04_02000093.html, 参照 Oct. 24, 2019.

執筆者紹介



布施 彰一 Shoichi Fuse
コネクティッドソリューションズ社
メディアエンターテインメント事業部
Media Entertainment Business Div.,
Connected Solutions Company



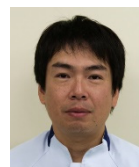
西村 佳壽子 Kazuko Nishimura
テクノロジーイノベーション本部
センサ・デバイス研究所
Institute for Sensors and Devices,
Technology Innovation Div.



元田 一真 Kazumasa Motoda
アプライアンス社 技術本部
Corporate Engineering Div.,
Appliances Company



千秋 久子 Hisako Chiaki
アプライアンス社 技術本部
Corporate Engineering Div.,
Appliances Company



三鼓 正則 Masanori Mitsuzumi
アプライアンス社 技術本部
Corporate Engineering Div.,
Appliances Company



打井 裕基一 Yukihiro Uchii
アプライアンス社 技術本部
Corporate Engineering Div.,
Appliances Company