

一眼レフ用広ダイナミックレンジ撮像素子 スーパー CCD ハニカム SR II の開発

小林 寛和*, 小田 和也*, 西村 亨*, 竹村 和彦*,
岩部 和記**, 坂本 智洋***, 山田 哲生***

Development of a Wide Dynamic Range Image Sensor for SLR, Super CCD SR II

Hirokazu KOBAYASHI*, Kazuya ODA*, Toru NISHIMURA*, Kazuhiko TAKEMURA*,
Kazuki IWABE**, Tomohiro SAKAMOTO***, and Tetsuo YAMADA***

Abstract

In 2003 we made further improvements in Super-CCD, the CCD for DSCs using our exclusive technology. We developed the fine-resolution high-pixel number type CCD (HR) and a new-concept CCD (SR) incorporating high resolution technology in order to expand dynamic range. These constitute the fourth generation of the Super-CCD. Aiming for the expanding digital single lens reflex (SLR) market, we have developed an image capture element, Super-CCD SR II, with an entirely new pixel structure that achieves both high S/N ratio and outstanding optical properties, in order to improve our company's exclusive technology for the wide dynamic range image capture element SR. We will explain the new pixel structure we developed to solve the problems involved in dynamic range expansion, treating separately our approaches to allotment of pixel areas, to S/N ratio, and to the exchangeable mount lenses unique to SLRs.

1. はじめに

2003年、当社はDSC用CCDの独自技術スーパーCCDハニカム¹⁾を進化させ、微細多画素型CCD(HR)および微細化技術を広ダイナミックレンジ化のために転用した新発想CCD(SR)を開発し、これらをハニカムCCD第IV世代と位置付けている^{2), 3)}。

感度の異なる大小フォトダイオード(PD)を同一チップ上に配置し、暗部～通常の露光域を高感度PD(以下、S画素)により、ハイライト部を低感度PD(以下、R画素)により、画像情報取得することで広ダイナミックレンジ撮像を可能とした撮像素子を、SR-CCDまたは単にSRと呼んでいる。SR搭載DSCにおいてはデジタル処理の強みを生かし、S画素、R画素の取得した画像からシーンのコントラストを判別するアルゴリズム

により、当該シーンに最適な目標ダイナミックレンジ、S画素信号、R画素信号合成階調が自動的に設定される(Fig. 1)。

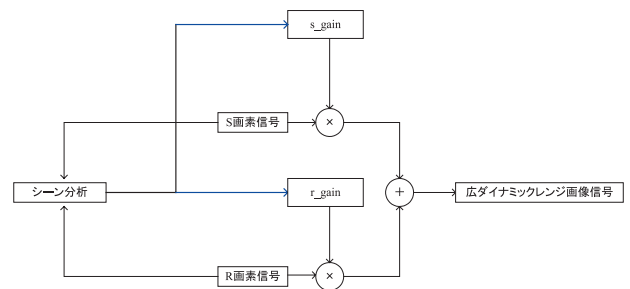


Fig. 1 A signal processing system for wide dynamic range image sensor SR.

本誌投稿論文 (受理2004年12月3日)

*富士写真フイルム(株)電子映像事業部
商品開発センター

〒351-8585 埼玉県朝霞市泉水3-11-46

* Products Research & Development Center,
Electronic Imaging Products Division
Fuji Photo Film Co., Ltd.

Senzui, Asaka, Saitama 351-8585, Japan

**富士写真フイルム(株)R&D統括本部
先進コア技術研究所

〒258-8538 神奈川県足柄上郡開成町宮台798

** Advanced Core Technology Laboratories,
Research & Development Management Headquarters
Fuji Photo Film Co., Ltd.

Miyanodai, Kaisei-machi, Ashigarakami-gun, Kanagawa
258-8538, Japan

*** 富士写真フイルム(株)電子映像事業部
電子デバイス研究所

〒981-3493 宮城県黒川郡大和町松坂平1-6

*** Electronic Device Laboratories, Electronic Imaging
Products Division, Fuji Photo Film Co., Ltd.

Matsusakadaira, Taiwa-cho, Kurokawa-gun, Miyagi
981-3493, Japan

こうしたSR搭載DSCの一例としてFinePix F700, F710 (Photo 1), S20PRO (海外向けモデル)を挙げることができる。これらはいずれも撮像エリアサイズの小さいコンパクトカメラ、あるいはハイエンドコンパクトカメラの位置付けである。



Photo 1 FinePix F710

一方、最近のデジタルカメラ動向に目を向けると、コンパクト機のみならず、従来非常に高価であった一眼レフ市場も急速に拡大している。画質に定評ある当社FinePix S2PRO後継機FinePix S3PRO (Photo 2)の開発にあたり、上記コンパクト機種で評価を得たSRを展開する方針を固めた。



Photo 2 FinePix S3PRO

今回開発したAPSフォーマットSR (スーパー CCD ハニカムSR II: S画素617万画素, R画素617万画素)は、コンパクト機に使用された、文献2)とは画素構造を大きく変えている。本報告では、その画素構造を中心に一眼レフ用広ダイナミックレンジ撮像素子のS/Nや優れた光学特性などについて解説する。

2. 広ダイナミックレンジ撮像の原理とその課題

広ダイナミックレンジ撮像には感度の異なる二つの画像データが必要とされるため、被写体が静止物であれば露出の異なるデータを使用しても構わない。しかしながら、人物などの非静止物を撮影すると、二つの画像データがぶれてしまう。また、感度の異なる撮像素子を二枚備える、いわゆる二板方式にはカメラの大型化を招くという欠点がある。そこで、当社は大小二組のPDを同一チップ上に配置することにより、感度の

異なる二つの画像データを得るSRを採用している。Fig. 2はS画素の1/4倍の飽和電子数、1/16倍の感度を持つR画素により、4倍のダイナミックレンジを得ている本撮像素子スーパーCCDハニカムSR IIの光電変換特性図である。広いダイナミックレンジを得て、なおかつS画素単独画質を高いレベルに維持するためには、S画素とR画素のバランス良い面積配分およびその配置、また、引いてはR画素感度の精密なコントロールが最大の課題として挙げられる。本課題に関する具体的目標を、

- ・ 従来 (FinePix S2PRO) 比4倍のダイナミックレンジ
- ・ S画素単独画質をFinePix S2PRO同等に維持すること (暗時ノイズ特性を30%改善)

とした。

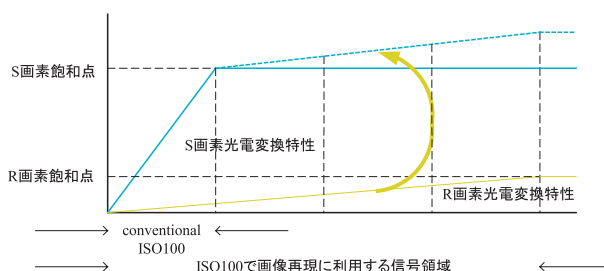


Fig. 2 Opto-electronic conversion function for Super CCD SR II.

3. 一眼レフ用撮像素子の光学特性に関する課題と画素構造

交換レンズ方式の一眼レフシステムを前提とした場合、下記のようなニーズに応えるべく、非常にタフな光学特性 (シェーディングやF値依存性) が求められる。

- ・ 従来からの一眼レフユーザーにとっては、これまでのレンズ資産を有効活用できることが利点である。
- ・ 新しくラインナップに加わるレンズ仕様に対応しなければならない。

一眼レフシステムに広ダイナミックレンジ撮像素子SRを展開するにあたり、撮像素子光学設計上の自由度を高める構造が必須であると考え、様々なS画素・R画素配置を検討した。コンパクト機向けCCD (文献2))よりも撮像エリアサイズや単位画素サイズに余裕のあるAPSフォーマットをターゲットとして検討を進めた結果、Fig. 3のようにS画素とR画素とを独立配置する新規画素構造に至った。独立配置により、開口サイズやマイクロレンズの集光特性などをコントロールしてS画素・R画素の光学特性を各々調整することが可能となっている。

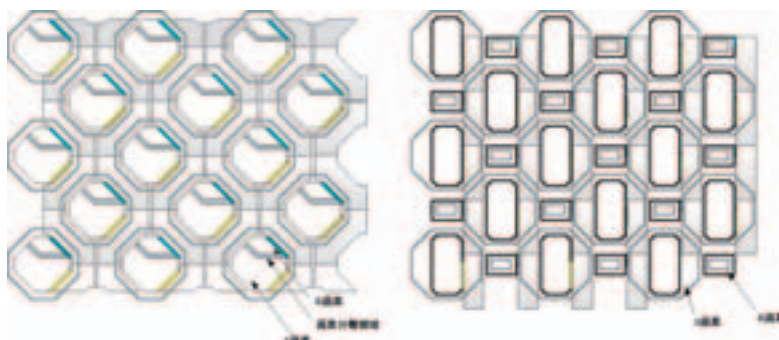


Fig. 3 Schematic pixel structures of SR(left) and of SR II (right).

4. スーパー CCDハニカム SR II の光学特性 および S/N

光学設計上の最大の課題は、R画素の集光率を下げることによる影響を軽減することであった。S画素とR画素に割り当てた飽和電子数（S：R＝4：1）にほぼ対応してそれぞれの画素面積が決定されるものの、ダイナミックレンジを確保するために低感度PDの感度、すなわちマイクロレンズによる集光率を下げる必要があるが、集光率を下げると開口までの部材による屈折、反射が広い範囲で発生し、光線の入射角度によってはケラレや迷光の要因となるためである（Fig. 4）。S画素、R画素の独立配置を生かし、こうした集光性や部材のトータル配置を最適化することで、低感度PDの感度や画面内均一性を、装着レンズによらず高いレベルで確保した。Photo 3に一眼レフレンズ装着時の撮影例を示す。S画素単独の画像に比べ、ダイナミックレンジが広がり、ハイライト部の再現性が高くなっていることがわかる。

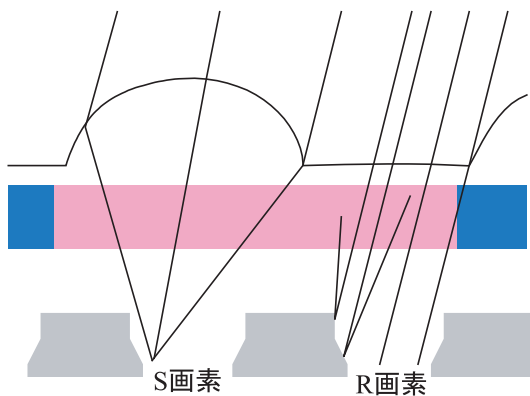


Fig. 4 An example of optical system design for S-pixel and R-pixel.



Photo 3 Photographs taken by FinePix S3PRO (left : using only S-pixel, right : using both of S-pixel and R-pixel).

Fig. 3に示した新規画素構造は、R画素が一定割合の面積を占有するため、S画素の面積が大きく取れずS画素単独画質の劣化を招くおそれがある。2章に記載の具体的目標を達成するため、アンプ部ノイズの低減（暗時ノイズ特性を30%改善）施策、およびその効果により許容できるS画素面積低下を試算し、S2PRO比4倍のダイナミックレンジを確保できるR画素の周辺設計を決めた。試算結果の一例をFig. 5に示す。低感度PDの飽和電子数を高感度PDの1/4まで割り当てても、暗時

ノイズ特性の改善によりS2PROとほぼ同等の画質を確保していることがわかる。

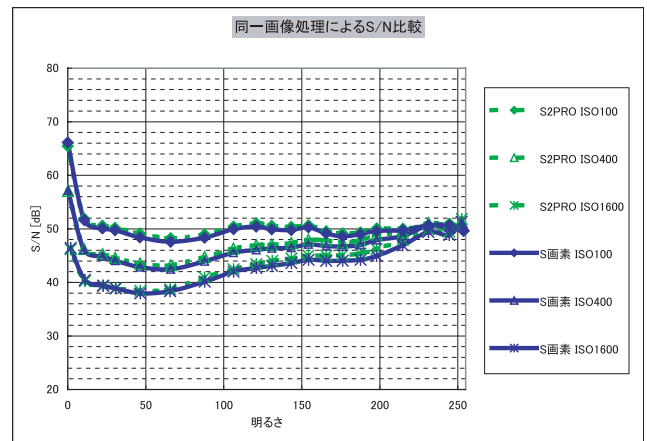


Fig. 5 Estimation of S/N ratio of S-pixel comparing with S2PRO by the same image processing. It is suggested that the quality of images of S-pixel is kept up with that of S2PRO.

5. まとめ

拡大するデジタル一眼レフカメラ市場に向けて、コンパクト機で開発した当社独自の広ダイナミックレンジ撮像素子SRの技術を展開すべく、高いS/N、優れた光学特性と両立したまったく新しい画素構造を持つ撮像素子、スーパー CCDハニカム SR IIを開発した。広ダイナミックレンジ化における課題を、画素面積の割り当てとS/Nの関係および一眼レフ特有の交換レンズ群への対応に分離し、新規画素構造について解説した。また、詳述しなかったが、本撮像素子が搭載されるFinePix S3PROとしては、

- ・ ISO100から1600までの幅広いISO感度レンジ
- ・ ノイズ、白キズを極限まで抑えた画素設計、画像処理アルゴリズムによるクリアな高感度画質および長時間露光画質
- ・ 高フレームレートを維持した中央部拡大表示機能を含むスルー画機能

などを実現し、高い性能を誇るデジタル一眼レフカメラに仕上がっている。

参考文献

- 1) T. Yamada, et al. A Progressive Scan CCD Image Sensor for DSC Applications. IEEE Journal of Solid-State Circuits **35** (12), 2044-2054 (2000).
- 2) 小田 他. 広ダイナミックレンジ撮像素子の開発. 映像学技報. **27** (25), 17-20 (2003).
- 3) 久保 他. 第4世代スーパー CCDハニカムを用いた広ダイナミックレンジ撮像システム. 富士フィルム研究報告. No. 49, 1-5 (2004).

（本報告中にある“スーパー CCDハニカム”，“FinePix”は、富士写真フィルム（株）の商標です。）