

オルカ-フラッシュ

ORCA[®]-Flash4.0 V2

デジタルCMOSカメラ C11440-22CU



技術資料

《2015年 9月版》

1. はじめに	P3	6. 仕様	P12
2. 科学計測用CMOSイメージセンサと ORCA-Flash4.0 V2の基本特性	P3	6.1. カメラ性能	
2.1. 科学計測用CMOSイメージセンサの構造		6.2. 動作周囲温度・湿度	
2.2. 量子効率	P4	6.3. 安全規格・適用規格	
2.3. ARコート		6.4. 外形寸法図	
2.4. リニアリティ (直線性)		7. 科学計測用CMOSとEM-CCDのS/N	P13
2.5. 読み出しノイズ	P5	7.1. S/Nの計算式	
2.5.1. 読み出しノイズとは		7.1.1. 入力信号	
2.5.2. 科学計測用CMOSイメージセンサにおける 読み出しノイズの低減手法		7.1.2. ノイズ	
2.5.3. 読み出しノイズの測定法		7.1.3. S/N	
2.5.4. ORCA-Flash4.0 V2の読み出しノイズ性能		7.1.4. EM-CCDのExcessノイズについて	
2.6. ダイナミックレンジ		7.2. S/Nの比較	P14
2.7. 暗電流と冷却構造		7.2.1. 科学計測用CMOS VS EM-CCD 背景光がない場合	
2.8. 高画質 (固定パターンノイズなし)	P6	7.2.2. 科学計測用CMOS VS EM-CCD 背景光がある場合	
2.9. リアルタイム画素補正機能		7.2.3. 微弱光領域での科学計測用CMOS と EM-CCD の比較結果	
2.10. 画素数・画素サイズ		8. 各種タイミングチャート	P15
2.11. ローリングシャッタ／グローバルシャッタ		8.1. タイミングチャートの説明	
2.12. フレームレート (読み出し速度)	P7	8.2. ノーマルエリアモード	
2.13. 読み出しモード		8.2.1. 内部同期モード	
3. ORCA-Flash4.0 V2のノーマルエリアモード ...	P7	8.2.1.1. ノーマル読み出しモード	
3.1. 読み出し方式		8.2.1.2. 電子シャッタモード	
3.1.1. 読み出しノイズの発生原因		8.2.2. 外部トリガモード	P16
3.1.2. スロースキャン		8.2.2.1. エッジトリガモード (ノーマルリセット)	
3.1.3. サブアレイ読み出し		8.2.2.2. エッジトリガモード (グローバルリセット)	
3.1.4. ビニング読み出し	P8	8.2.2.3. レベルトリガモード (ノーマルリセット)	
3.2. 撮影モード		8.2.2.4. レベルトリガモード (グローバルリセット)	
3.2.1. 内部同期モード		8.2.2.5. 読み出し同期トリガモード	P17
3.2.2. 外部トリガモード		8.2.2.6. スタートトリガモード	
3.2.2.1. エッジトリガモード		8.2.2.7. スロースキャンモード	
3.2.2.2. レベルトリガモード	P9	8.3. ライトシートモード	P18
3.2.3. 読み出し同期トリガモード		8.3.1. 内部同期モード	
3.2.4. スタートトリガモード		8.3.2. エッジトリガモード	
3.2.5. グローバルリセット		8.3.3. スタートトリガモード	
3.2.6. 外部トリガ遅延機能		8.4. トリガ出力	P18
3.3. 外部トリガ出力信号	P10	8.4.1. グローバル露光タイミング出力	
3.3.1. グローバル露光タイミング出力		8.4.2. プログラマブルタイミング出力	
3.3.2. プログラマブルタイミング出力		8.4.3. Pre-HSync	
3.3.2.1. Read End		8.4.4. トリガレディ出力	
3.3.2.2. Vsync			
3.3.3. トリガレディ出力			
4. ORCA-Flash4.0 V2のライトシートモード	P10		
4.1. ライトシートモード読み出し方式			
4.2. ライトシートモード撮像モード			
4.2.1. ライトシート内部同期モード	P11		
4.2.2. ライトシートエッジトリガモード			
4.2.3. ライトシートスタートトリガモード			
4.3. ライトシートモード外部トリガ出力信号			
4.3.1. プログラマブルタイミング出力			
4.3.1.1. Read End			
4.3.1.2. Vsync			
4.3.1.3. Hsync			
4.3.2. Pre-Hsync			
5. コンピュータとの接続	P11		
5.1. 出力・制御インターフェース			
5.1.1. Camera Link インターフェース			
5.1.2. USB 3.0 インターフェース			
5.2. アプリケーションソフトウェアとドライバソフトウェア			

1 はじめに

デジタルカメラORCAシリーズは、高性能・高品質を特長に科学計測用カメラとしてご好評をいただいております。科学計測用CMOSイメージセンサを採用したデジタルカメラORCA-Flash2.8は、高解像度でありながら、高速読み出しと低ノイズを同時に実現し、従来の科学計測用カメラに比べ、より広範囲な分野での測定が可能となりました。

その後、最新技術により開発された科学計測用CMOSイメージセンサを採用し、高感度、高解像度、高速読み出し、低ノイズをより高い次元で同時に実現したORCA-Flash4.0を開発。さらに、2013年にはORCA-Flash4.0に新しい機能を追加してバージョンアップしたORCA-Flash4.0 V2の発売を開始しました。

科学計測用CMOSイメージセンサは、従来のCMOSイメージセンサの常識を覆す優れた画質・性能を持ち、明視野から微弱な蛍光まで幅広い光領域でのイメージングや計測に対応します。

この技術資料は、ORCA-Flash4.0 V2の特長を説明するのみにとどまらず、科学計測用CMOSイメージセンサの基本的な技術も紹介することでセンサの特性もご理解いただき、カメラを正しく効果的にお使いいただくことを目的に書かれたものです。

2 科学計測用CMOSイメージセンサとORCA-Flash4.0 V2の基本特性

この章では、科学計測用CMOSイメージセンサおよびORCA-Flash4.0 V2における撮影性能等の基本特性や、そこで採用されている技術を紹介いたします。

2.1 科学計測用CMOSイメージセンサの構造

ここでは、科学計測用に使われているCCDイメージセンサと科学計測用CMOSイメージセンサと同じ構造であるCMOSイメージセンサの構造の比較を紹介します。

CCDイメージセンサの画素は、フォトダイオードと電荷を貯める容器から構成されます。入射した光は電荷に変換され、容器に蓄積されます。電荷はバケツリレー方式で運ばれ、最後に電圧に変換されて出力されます。(図1-1 参照)

これに対して、CMOSイメージセンサの画素は、フォトダイオードと電荷を電圧に変換するアンプから構成されます。入射した光は電荷に変換され、画素内で電圧に変換されます。各画素の電圧は、スイッチを順次切り替えることにより出力されます(図1-2 参照)

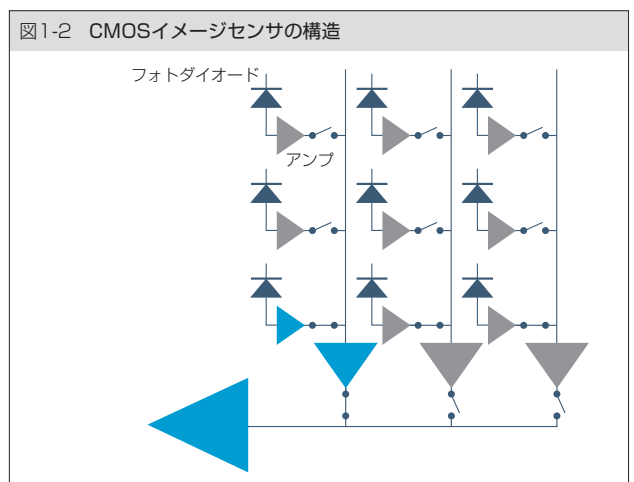
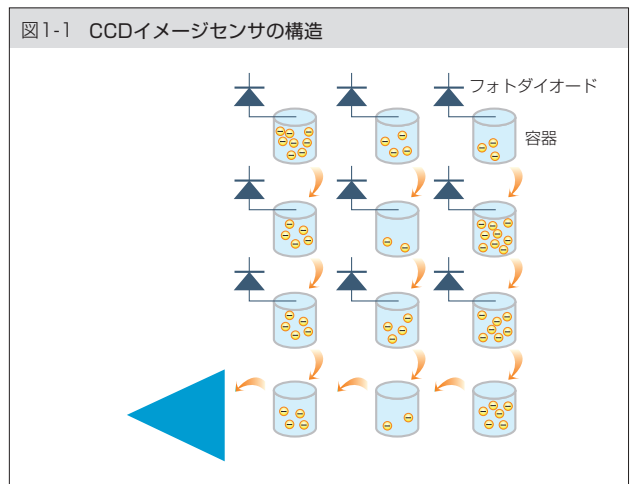


図1 CCDイメージセンサとCMOSイメージセンサの構造

加えて、高速化のために、オンチップカラムアンプ・A/Dを採用し、1信号の並列同時読み出しを行えます。これにより、低ノイズでかつ高速な信号読み出しが可能です。

さらに、素子が上下で2分割されており、それぞれにオンチップカラムアンプ・A/Dを配置しています。このため、水平2ラインの同時読み出しが可能となり、さらなる高速化を実現しています。尚、画像読み出しは、中心部の2ラインからスタートし、上部は上端に、下部は下端に向かって行われます。

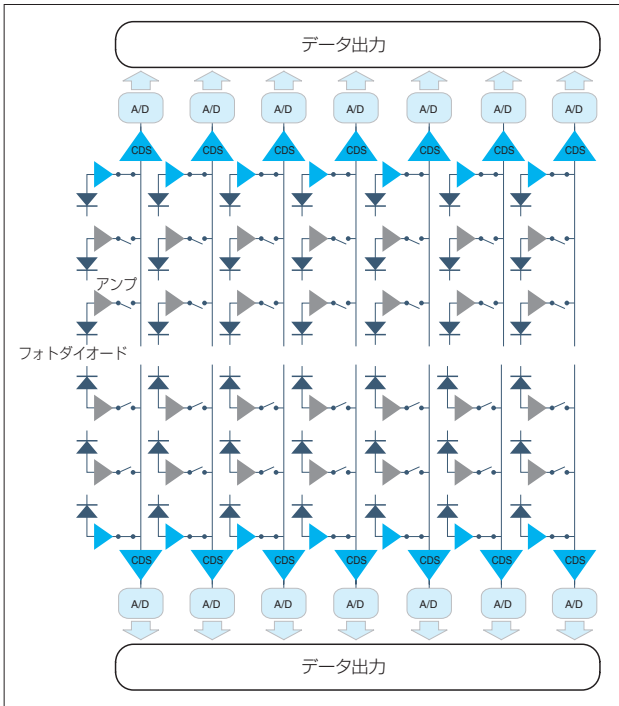


図2 科学計測用CMOSイメージセンサ 内読み出し回路

2.2. 量子効率

科学計測用CMOSイメージセンサは、各画素にて入射する光を電荷に変換し、信号として検出します。感度を決める重要な要素として、この光を電荷に変換する効率すなわち量子効率があります。1画素内に複数のアンプが配置されていますので、光 - 電荷変換を行うセンサ部は、画素の一部に限られています。そこで、各画素にオンチップマイクロレンズを設置することにより、光の利用効率を上げ、感度向上を実現しました。（図3 参照）

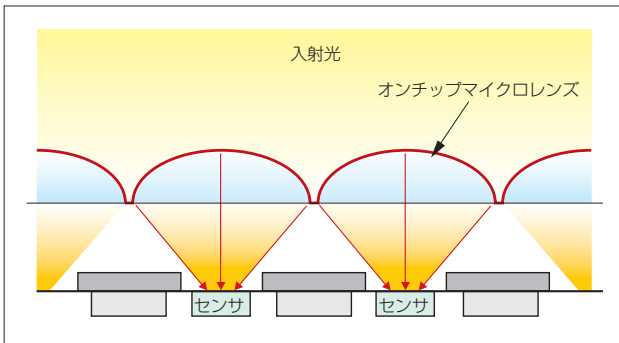


図3 オンチップマイクロレンズの構造図

また、素子構造の最適化により、光の利用効率を上げ、従来のCMOSイメージセンサ（ORCA-Flash 2.8）に比べ感度の向上を実現しました。（図4参照）

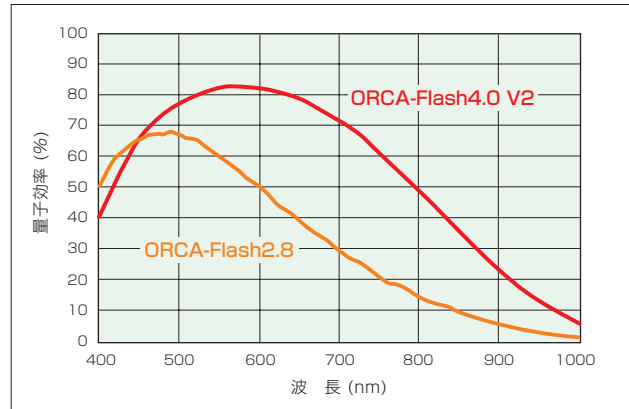


図4 分光感度表

2.3. ARコート

ORCA-Flash4.0 V2の入力窓は、シングルウィンドウで両面ARコートが施され、波長450 nm~750 nmで99%以上の透過率を実現しています。

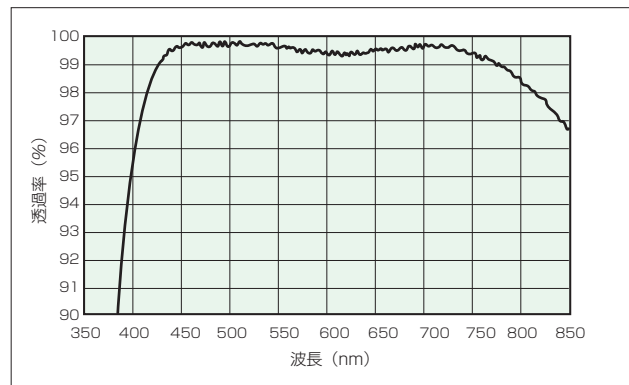


図5 ARコートの透過率特性

2.4. リニアリティ（直線性）

信号を忠実に検出するためには、入出力特性の直線性が重要です。ORCA-Flash4.0 V2では、画素に入射した光量と出力される信号との直線性が確保されています。これは、科学計測用CMOSイメージセンサの入出力特性が良好な直線性であること、および最適設計された回路により実現されています。

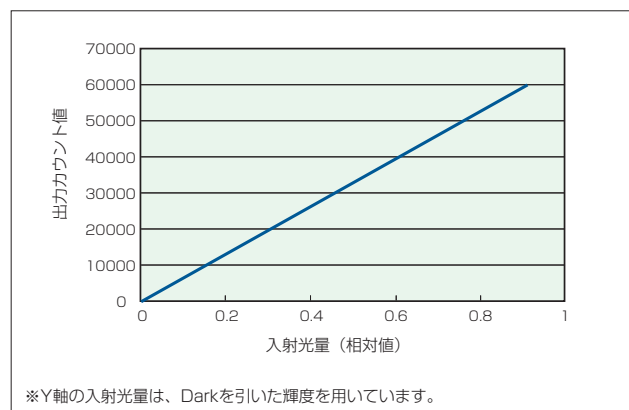


図6 入出力特性

2.5. 読み出しノイズ

イメージセンサの検出限界を決定する主要因は、センサの暗電流と読み出しノイズであり、これらの値はカメラの性能を決める重要なパラメータです。

この2つのうち、暗電流はセンサを冷却することにより低減可能な為、読み出しノイズが最も重要なパラメータとなります。

2.5.1. 読み出しノイズとは

電荷を読み出す際に電荷電圧変換アンプ内で発生するランダムなノイズになります。

2.5.2. 科学計測用CMOSイメージセンサにおける読み出しノイズの低減手法

最新のCMOS技術を採用した科学計測用CMOSイメージセンサは、画素アンプの最適化、高ゲイン化に加え、画素ごとのアンプのばらつきを大幅に低減しています。さらにセンサ上にCDS回路を搭載する事で、劇的な低ノイズ化を図っています。

2.5.3. 読み出しノイズの測定法

CCDイメージセンサでは、読み出しアンプは1センサに1個です。このため、各画素で複数回の読み出しを行うことにより測定した読み出しノイズと、1枚の画像の複数画素から測定した読み出しノイズは、基本的に等価です。このため、1枚の画像から読み出しノイズ評価を行うことができます。

科学計測用CMOSイメージセンサでは、画素ごとにアンプがあるため、画素ごとに読み出しノイズが異なります。このため、まず画素ごとに読み出しノイズの測定を行います。

ノイズの低い画素から高い画素に並べた時の中央の値をMedianといいます。平均値に比べ、最大値と最小値の影響を受けない代表的なノイズ値を表します。rmsノイズは、平均値に対する正負両方の誤差から算出します。画素ごとのノイズのばらつきを統計的に表します。

2.5.4. ORCA-Flash4.0 V2の読み出しノイズ性能

図7は、ORCA-Flash4.0 V2の各画素における読み出しノイズの度数分布です。読み出しノイズが1.0 electrons(median)、1.6 electrons(rms)と非常に小さな値の画素が大半をしめていることがお分かりいただけると思います。

これは従来の冷却CCDイメージセンサに比べて低い読み出しノイズを実現しています。またこの値は、CCDイメージセンサでは実現できない400万画素で100フレーム/秒という高速読み出しにおける性能です。

また、ノイズを低減するスロースキャンモードでは、読み出しノイズ0.8 electrons(median)、1.4 electrons(rms)を実現しています。

※スロースキャンモードについては、後述します。

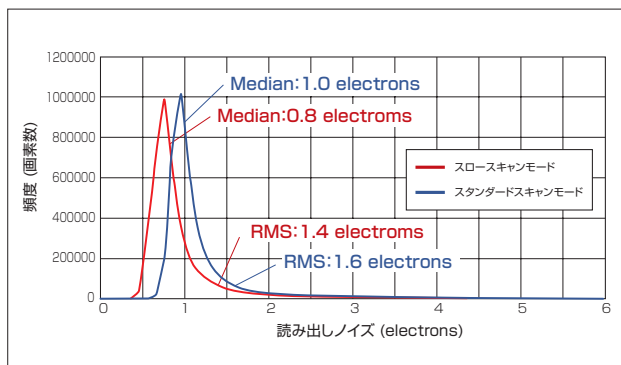


図7 ORCA-Flash4.0 V2 の読み出しノイズ分布

2.6. ダイナミックレンジ

科学計測用カメラでは、通常ダイナミックレンジを、(飽和電荷量) / (読み出しノイズ) にて表現します。したがって、読み出しノイズと同等の光量をそのカメラで取り扱いができる最小の光量と考えれば、ダイナミックレンジは、そのカメラが取り扱えるのできる最大光量 (= 飽和電荷量) と最小光量 (= 読み出しノイズと同等の光量) の比率を意味する事になります。

ORCA-Flash4.0 V2は、飽和電荷量が30 000 electronsに対して、読み出しノイズが1.0 electrons (スタンダードスキャン)、0.8 electrons (スロースキャン) です。このため、ダイナミックレンジは、30 000 : 1 (スタンダードスキャン)、37 000 : 1 (スロースキャン) と非常に大きな値となっており、これは従来のカメラで最もダイナミックレンジが大きいスロースキャンタイプの冷却CCDカメラと同等の値です。

また、ここで定義するダイナミックレンジは、従来のアナログ出力カメラにおいて、S/Nとして表記されているパラメータと同等の概念です。このため、下記計算式により、デジタルカメラのダイナミックレンジとアナログ出力カメラのS/Nは変換が可能です。

アナログカメラでのS/NをSNRa、デジタルカメラでのダイナミックレンジをDとすれば、

$$SNRa \text{ (dB)} = 20 \times \log D$$

例えば、ORCA-Flash4.0 V2のダイナミックレンジ 37 000 : 1 の場合には、下記の計算となります。

$$20 \times \log(37\,000) = 91.4 \text{ dB}$$

2.7. 暗電流と冷却構造

CCDイメージセンサやCMOSイメージセンサにおける暗電流は、センサの素材であるシリコンの熱に起因して発生する電荷で、カメラの検出限界を決める要素の1つになっています。暗電流は温度依存性があり、CCDイメージセンサやCMOSイメージセンサの温度が7 °C ~ 8 °C 下がると約1/2に下がることが知られています。したがって、冷却は暗電流を抑える非常に有効な手段となります。暗電流はCCDイメージセンサ、CMOSイメージセンサのタイプにより異なりますが、科学計測用CMOSイメージセンサは、CCDイメージセンサと同様な埋め込み型フォトダイオードを実現し、低暗電流を実現しており、-30 °C (水冷時) の冷却温度でも十分な性能を発揮することができます。

そして、冷却を行わない場合と比較して、暗電流値が安定するため、データの再現性が向上します。

ORCA-Flash4.0 V2は、暗電流を抑えるため、ペルチェ素子を使用してイメージセンサを冷却しており、イメージセンサ温度が-30 °C (最大水冷時) で0.006 electrons/pixel/s、-20 °C (水冷時) で0.02 electrons/pixel/sと低い暗電流に抑えられています。

この時、イメージセンサが直接大気に触れると大気中の水分が結露することがあります。これを避けるため、センサを大気と隔離した構造とし、その内部を乾燥窒素で充填しています。

冷却方式	冷却温度	暗電流 (typ.)
空冷 (周囲温度 +20 °C)	-10 °C	0.06 electrons/pixel/s
水冷 (水温 +20 °C)	-20 °C	0.02 electrons/pixel/s
最大水冷 (水温 +15 °C)	-30 °C	0.006 electrons/pixel/s

表1 冷却温度と暗電流

2.8. 高画質（固定パターンノイズなし）

ORCA-Flash4.0 V2は、従来のCMOSイメージセンサで画質を低下させる大きな要因となっていた固定パターンノイズの極めて少ない高品位な画像を提供することができ、科学計測用として十分な高画質を実現しています。（図8 参照）

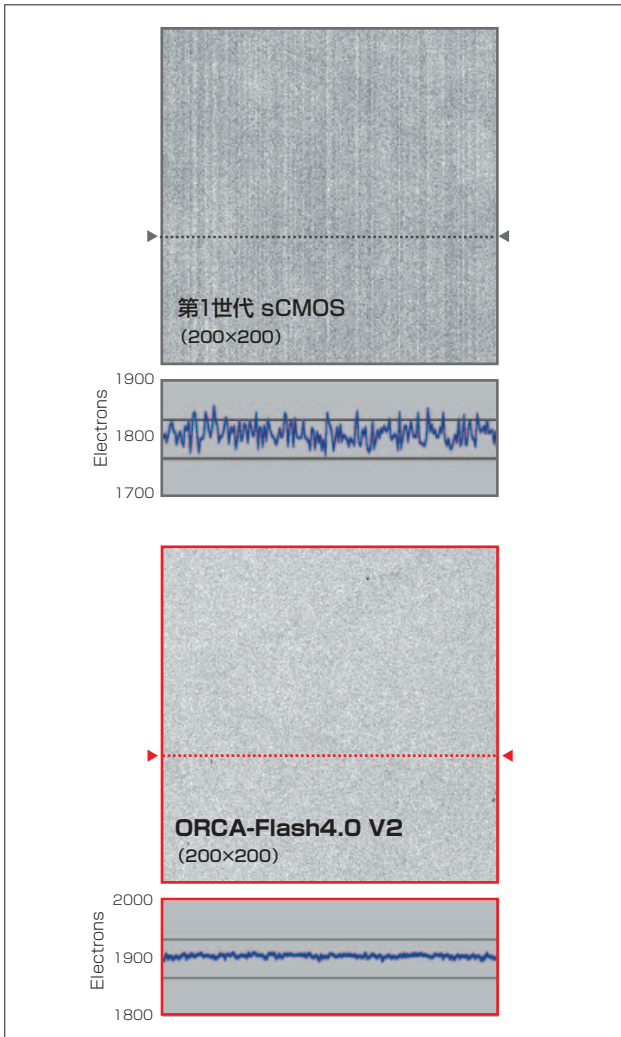


図8 ノイズの比較

2.9. リアルタイム画素補正機能

科学計測用CMOSイメージセンサでは、読み出しノイズが周囲と比較して大きい画素がわずかながら存在します。このため、ORCA-Flash4.0 V2は、読み出しノイズが大きな画素のデータを周辺のデータにより置き換えを行うことにより、さらなる画質向上を行うピクセルコレクション機能を備えています。この補正は、カメラの出力速度に合わせてリアルタイムで実行され、補正によりフレームレートを落とすことはありません。また、この機能は、ON/OFF可能です。

2.10. 画素数・画素サイズ

科学計測用CMOSイメージセンサは、 $6.5\ \mu\text{m} \times 6.5\ \mu\text{m}$ と従来から広く使用されている2/3型・130万画素CCDイメージセンサと同程度の画素サイズです。画素数は3倍以上あるため、2/3型・130万画素CCDイメージセンサより3倍以上広い視野を観察可能です。（図9参照）

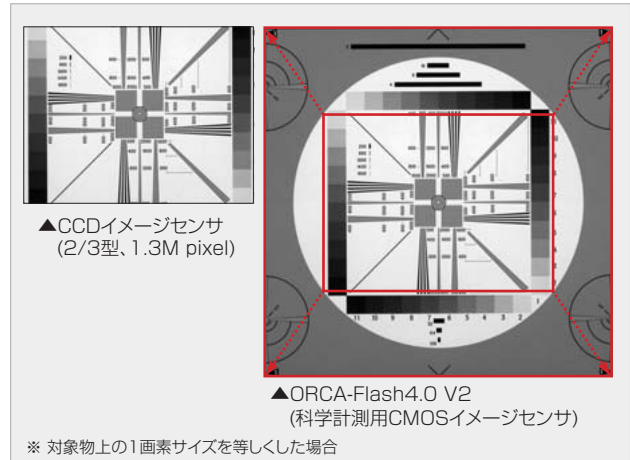


図9 CCDイメージセンサとORCA-Flash4.0 V2の視野比較

2.11. ローリングシャッター／グローバルシャッター

CMOSイメージセンサの露光、読み出し方式は、大きく2つに分類されます。ローリングシャッターとグローバルシャッターです。

ローリングシャッターは、1画素または1ラインを1単位として露光・読み出しを順次行います。このため、1画面中で露光タイミングが異なります。（図10参照）

一方、グローバルシャッターは、全画素同時に露光、読み出しを行うため、1画面中の露光タイミングは同時です。（図10参照）

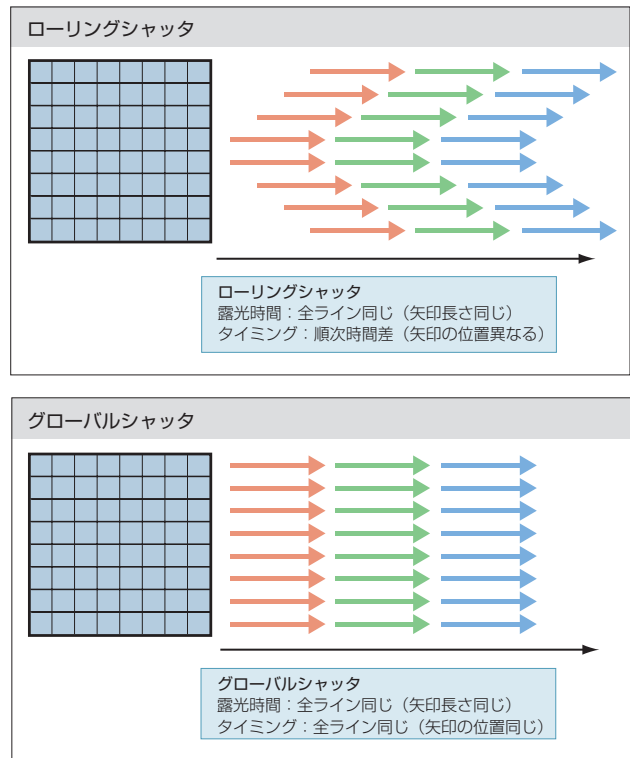


図10 ローリングシャッターとグローバルシャッターの読み出しタイミング

ローリングシャッタとグローバルシャッタを比較した場合、ローリングシャッタ使用時は、グローバルシャッタ使用時に比べ読み出しノイズ、暗電流が低く抑えられています。顕微鏡下の蛍光画像等光量が少ない暗い画像の取り込みを行う場合、読み出しノイズ、暗電流特性に優れていることが重要なため、ORCA-Flash4.0 V2では、ローリングシャッタを採用しています。さらに、ローリングシャッタは、残像特性、スミア特性にも優れています。

また、ローリングシャッタでは、1画面中の露光タイミングが異なりますが、対象物が動いていたとしても、多くの場合、実測定にはほとんど影響がありません。(図11参照)

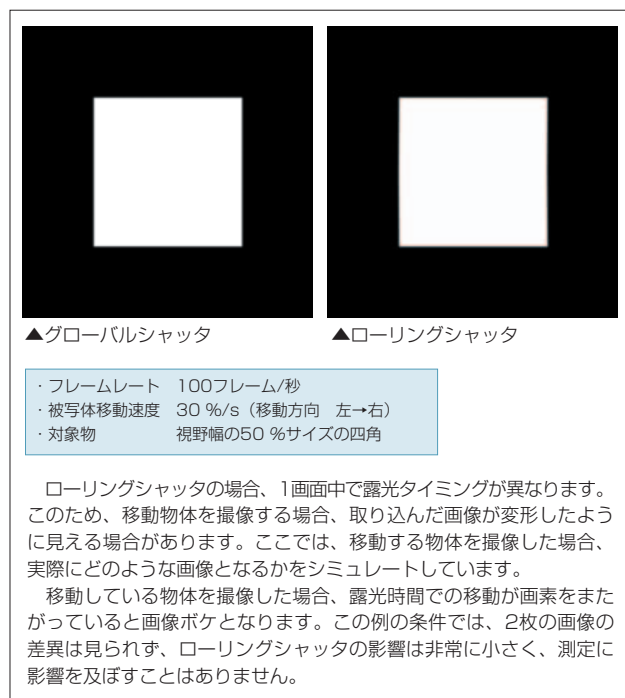


図11 グローバルシャッタとローリングシャッタのボケ量

2.12. フレームレート (読み出し速度)

フレームレート (読み出し速度) は、連続して画像を映し出す時に1秒間あたりに映し出せる映像枚数のことをいい、通常フレーム/秒 (またはfps) で表します。撮像の時間分解能や動く被写体に対してブレなく撮像ができるかは、このフレームレートの値で決まり、カメラの選択にあたっては重要な項目の一つです。

科学計測用CMOSイメージセンサでは、カラムA/Dによる2ライン並列同時読み出しにより、1.0 electrons (median)、1.6 electrons (rms) という低ノイズと100フレーム/秒の高フレームレート (2048×2048画素時) を両立しています。

2.13. 読み出しモード

ORCA-Flash4.0 V2の読み出しモードには、大きく分けてノーマルエリアモードとライトシートモードの2つがあります。各モードの詳細については、後述します。

この章では、ORCA-Flash4.0 V2のノーマルエリアモードを紹介합니다。

3.1. 読み出し方式

ORCA-Flash4.0 V2にはさまざまな読み出し方式があります。読み出しスピードをスタンダードスキャンとスロースキャンの2種類から選択でき、それぞれのスキャンモードでサブアレイ読み出しとビニング読み出しを組み合わせ使用することができます。

3.1.1. スタンダードスキャン

ノーマルエリアモードでは、センサの真ん中から上部は上端に、下部は下端に向かう方向で読み出しが行われ、イメージセンサからの読み出しを、全画素対象に順次行います。

3.1.2. スロースキャン

スロースキャンモードは、水平1ラインの読み出し時間を延ばしてノイズを軽減することが出来ます。スピードを必要とせず、ノイズを上げて使用する場合に有効なモードになります。コマンドによりスタンダードスキャンモード (初期設定) からスロースキャンモードに切り替えることができます。

3.1.3. サブアレイ読み出し

サブアレイ読み出しは、全有効画素の中から任意のエリアを選択し、選択部分の信号のみを読み出す機能です。この機能を用いることにより、1フレームの読み出し時間が短くでき、フレームレートを上げることが出来ます。CCDイメージセンサでは、選択部分以外のエリアは電荷を順次転送して捨てる必要があり、高速化には限界がありますが、科学計測用CMOSイメージセンサは、必要なエリアのみを読み出すことが可能です。このため、画素数の減少に反比例してフレームレートは向上します。

ORCA-Flash4.0 V2は、サブアレイ読み出し機能により、最速25 600 フレーム/秒までの高速読み出しが可能です。サブアレイ読み出しでは、読み出し画素数は少なくなりますが、読み出しノイズには悪影響を与えることなく、高速化が可能です。(表2 参照)

設定可能エリアは、画面中央部を中心とした上下対称の2ヶ所です。対象エリアが1ヶ所であれば、画面中央部を設定することにより、最も高速に読み出しが可能です。

また、設定可能な位置・サイズは、4ライン単位です。

垂直方向画素数	水平方向画素数			
	スタンダード スキャン	スロー スキャン	USB 3.0	
			2048	512
2048	100	30	100	30
1024	200	60	200	60
512	400	120	400	120
256	801	240	801	240
128	1603	481	1603	481
64	3206	962	3206	968
8	25 655	7696	25 655	7894

表2 読み出し方式と画素数・読み出し速度

3.1.4. ビニング読み出し

ビニングは、隣り合う画素の信号を加算して、解像度と引き替えに高感度を実現する方法です。ビニングを行うことにより、暗い画像を撮像する際に、フレームレートを落とすことなくS/Nを向上させることができます。

ORCA-Flash4.0 V2は、2×2または 4×4ビニングが可能です。2×2ビニングを行った場合、1画素あたりの信号量は4倍となり、出力画素数は1024×1024画素になります。なお、ORCA-Flash4.0 V2では、カメラ内でデジタル処理（デジタルビニング）をしています。ビニング機能を使用することにより、S/Nを改善することができます。2×2ビニング時には、S/Nが2倍に改善され、4×4ビニング時には、S/Nを4倍にすることができます。

垂直方向画素数	ビニング 2×2、4×4		
	Camera Link		USB 3.0
	スタンダードスキャン	スロースキャン	
2048	100	30	30
1024	200	60	60
512	400	120	120
256	801	240	240
128	1603	481	481
64	3206	962	968
8	25 655	7696	7894

※ 読み出し速度は、画面中央部を測定した場合（フレーム/秒）

表3 ビニング読み出し方式の読み出し速度

3.2. 撮影モード

ORCA-Flash4.0 V2は、幅広い用途で最適イメージングを実現するために周辺機器とカメラとの撮像タイミングを管理する各種の外部同期機能やタイミング出力を備えています。撮影モードとして、カメラ単体で動作する内部同期モードと外部トリガにより露光タイミングを決める外部トリガモードを備えています。

詳細なタイミングについては、後述の「タイミングチャート」の項を参照ください。

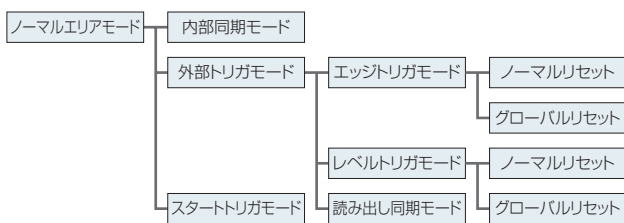


図12 撮影モード体系図

3.2.1. 内部同期モード

外部機器と連携しない場合、またはカメラが主体となり露光を行う場合に使用します。内部同期モードでは、100 フレーム/秒（全画素読み出し時）とTV放送レートを上回るフレームレートで動作可能で観察、視野調整、動画撮影に向いています。また、対象物が暗い場合には、露光時間を長くして信号量を増やし、S/Nを上げて撮像することも可能です。このモードでは、読み出し速度は露光時間に依存し、読み出し速度 = 1 / 露光時間 となります。なお、最大露光時間は10秒です。

3.2.2. 外部トリガモード

外部トリガモードは、外部機器からのトリガ信号に同期して、露光を行いたい場合に使用します。また、エッジトリガモードとレベルトリガモードの2種類の方法で外部からの信号により、露光のタイミングを制御できます。

3.2.2.1. エッジトリガモード

エッジトリガモードは、外部からのトリガ信号の立ち上がり/立ち下りエッジ(コマンドによって立ち上がりと立ち下りの切り替えができます。)に同期して、露光を開始したい場合に使用します。露光時間はコマンドにてカメラに設定します。

《応用例：広視野撮像》

測定対象物全体が大きくかつ分解能が必要な場合、複数回の撮像が必要となります。XYステージにて対象物を動かし、目的の場所でステージを止めたところでカメラにトリガを入力し、画像取り込みを行います。これを繰り返すことにより、目的の対象物全体の画像を得ることが可能です。

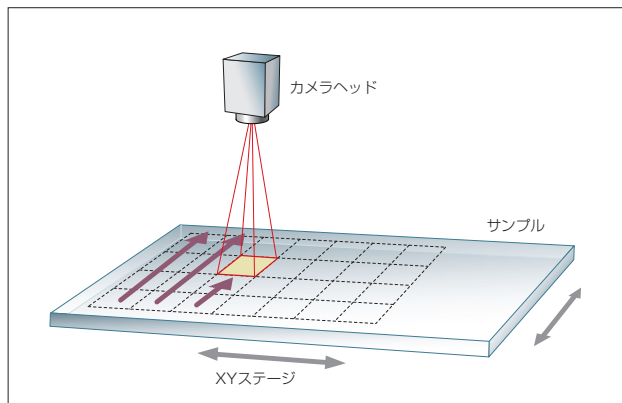


図13 XYステージを使用した広視野撮像

3.2.2.2. レベルトリガモード

レベルトリガモードは、外部からのトリガ信号のHighの期間/Lowの期間(コマンドによってHighとLowの切り替えができます。)、露光を行います。外部からのトリガ信号の立ち上がり/立ち下りエッジから露光を開始しますので、露光の開始タイミングと露光時間を外部から制御することができます。

《応用例：高速多波長フィルタ読み出し》

回転型フィルタを用いて多波長の画像取り込みを行う場合、レベルトリガモードとトリガレディ出力(トリガレディ出力は後述します。)を使用することにより、露光時間を制御しながら高速に取り組みが可能です。下図は4つのフィルタを使用し、かつ各フィルタの露光時間をPC(電気信号制御用ボード)で制御する場合の例です。

フィルタF1の準備が整ったところで、カメラにレベルトリガを入力します。図は立ち上がりで露光開始の場合を示しています。立ち下りまでの時間が露光時間となります。露光が終了するとカメラからはトリガレディ信号が出力されます。それに合わせ、フィルタを回転し、フィルタF2をセットします。ここまでがフィルタ1枚を切り替えるタイミングです。

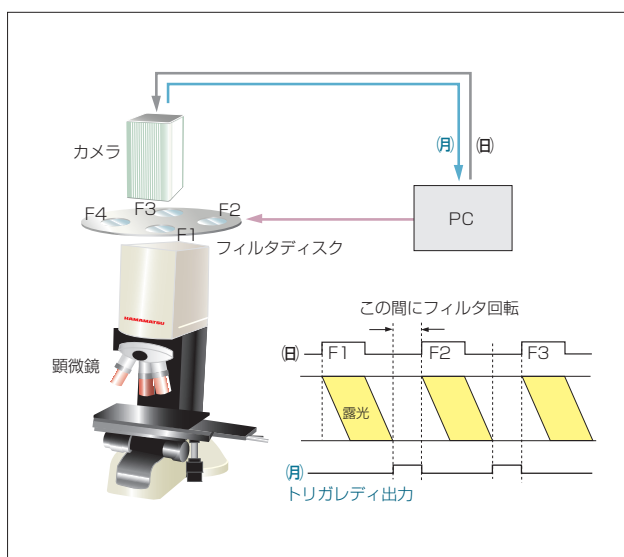


図14 回転型フィルタを用いた多波長画像の取り込み

3.2.3. 読み出し同期トリガモード

読み出し同期トリガモードは、外部からのトリガ信号の立ち上がり/立ち下りエッジ(コマンドによって立ち上がりと立ち下りの切り替えができます。)に同期して、読み出しを開始し、読み出し終了後、次の露光を開始します。外部トリガの信号のエッジからエッジまでが露光の期間になります。主として、ピンホールディスクタイプのコンフォーカル(共焦点)顕微鏡にて使用します。

《応用例：コンフォーカル顕微鏡読み出し》

ピンホールディスクを用いたコンフォーカル顕微鏡の読み出しを行う場合、読み出し同期トリガを使用することにより、容易に高画質撮像が可能です。ピンホールディスクの回転タイミングに合わせてデータ取り込みを行うことにより、回転速度のゆらぎに起因する輝度むらを避けることが可能です。

この例では、ピンホールディスクの回転タイミングを光や磁気等で検出し、カメラに入力します。トリガ入力のタイミングで、カメラは露光終了とデータ読み出し、そして次の露光を開始します。ピンホールディスクからの信号が1フレームに1回であればノーマル読み出し同期トリガモードを使用します。(多数回のトリガで1フレームを構築する場合でも対応可能です。)

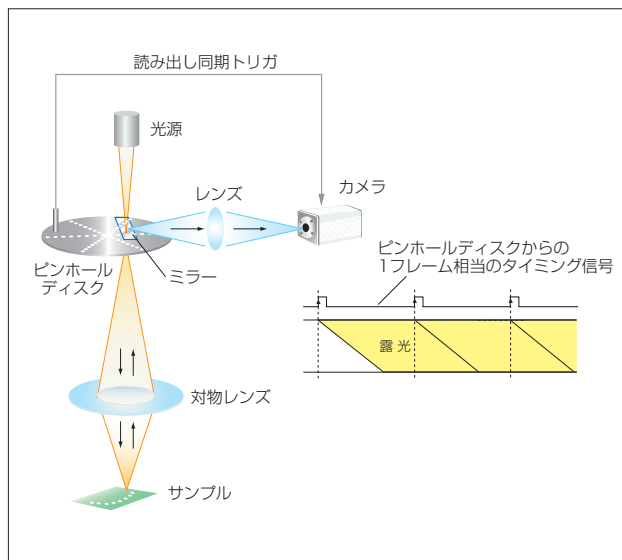


図15 コンフォーカル顕微鏡の読み出し

3.2.4. スタートトリガモード

スタートトリガモードは、外部からのトリガ信号の立ち上がり/立ち下りエッジ(コマンドによって立ち上がりと立ち下りの切り替えができます。)に同期して、露光を開始して、内部同期モードに切り替えます。

画像取り込み開始のタイミングを外部から制御したい場合に使用します。特に、フレームレートを出来るだけ確保し、かつ感度を得たい場合に有効です。例えば、刺激があった場合に反応を開始する現象を撮像したい場合、刺激を加えるタイミングに同期して、連続画像取り込みを開始することが可能です。また、内部同期で動作するため最速フレームレートでの動作が可能となり、カメラに入力されたトリガ信号のエッジでカメラの露光を開始すると同時に、カメラを内部同期に切り替えます。

《応用例：高速蛍光イメージング》

蛍光イメージングにおいては、Q-DOTなどの蛍光色素を除き、蛍光の退色が必ず測定に影響します。蛍光は励起光を当てた瞬間から光り始めますが、徐々にその蛍光強度が弱くなっていき、それを退色と読んでいます。一般に蛍光イメージングでは励起光の光路にシャッターを入れ、カメラの撮像期間以外にはサンプルに励起光が当たらないようにして退色を押さえています。スタートトリガモードを使用し、シャッターの開放と同時に画像取得を開始することで、退色の影響を最低限にすることができます。また、スタートトリガモードではトリガ受け後は内部同期モードとなりますので、最速フレームレートでの画像取得が可能です。

3.2.5. グローバルリセット

通常モードでは、水平1ライン毎に読み出し終了後、電荷をリセットし、露光を開始しています。その一連の動作が終了後、次の水平ラインに移ります。そのため、露光の開始は、1水平ライン毎に1水平ラインの読み出し時間分の遅延が発生します。グローバルリセット機能は、全てのラインのリセットを同時に行います。この機能を使用することにより、露光の開始を揃えることができます。グローバルリセットは、エッジトリガモードとレベルトリガモード時のみ使用できます。

3.2.6. 外部トリガ遅延機能

例えばパルスレーザの発振後、一定時間を経過した後、露光を開始したい場合、従来はレーザとカメラの間にディレイユニットを接続し、トリガ信号の制御を行っています。

ORCA-Flash4.0 V2は、各外部トリガモードにて、カメラに入力したトリガ信号に対して、コマンドにより遅延時間を設定することが可能です。このため、ディレイユニットが無くても、さまざまなトリガ信号に対応可能です。

4 ORCA-Flash4.0 V2のライトシートモード

3.3. 外部トリガ出力信号

ORCA-Flash4.0 V2のノーマルエリアモードでは、露光が行われているタイミング等を外部にトリガ信号として出力する事が出来ます。この出力を外部機器のトリガ入力として使用すれば、カメラの露光時間のタイミングに合わせて、外部機器と同期動作することが可能です。

3.3.1 グローバル露光タイミング出力

すべての水平ラインが露光状態の期間にHigh/Low(コマンドによってHighとLowの切り替えができます。)の信号を出力します。

3.3.2 プログラブルタイミング出力

プログラブルタイミング出力は、ユーザが設定した出力タイミングからユーザが設定したパルス幅の信号を出力させることができます。出力タイミングは、Read End、Vsyncのどちらかの基準を選択できます。また、その選択した基準に対して遅延時間も設定することができます。

3.3.2.1 Read End

センサの読み出し終了を基準とします。

3.3.2.2 Vsync

フレームバリッド信号の立ち上がりを基準とします。フレームバリッド信号は、1フレームの読み出し期間Highになります。

3.3.3 トリガレディ出力

トリガレディ出力は、カメラの露光後読み出しが終了し、次の外部トリガを入力可能となった時点でHigh/Low(コマンドによってHighとLowの切り替えができます。)の信号を出力します。

4.1. ライトシートモード読み出し方式

ノーマルエリアモードでは、センサ中央の水平2ラインから同時に読み出しを開始し、上下にそれぞれ1ラインずつ読み出しを行います。(図16)ライトシートモードでは、センサの最上位ラインより順番に下方に読み出しをしていきます。(図17)

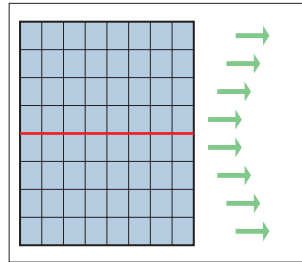


図16 ノーマルエリアモード

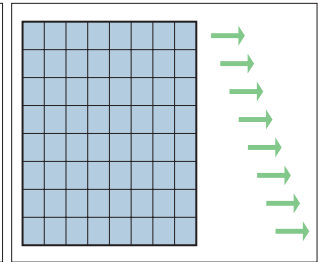


図17 ライトシートモード

また、センサの最上部の水平1ラインからセンサの下方方向に向かって読み出すフォワード読み出しとセンサ最下部の水平ラインから上方に向かって読み出すバックワード読み出しの2つのモードがあり、切り替えることができます。

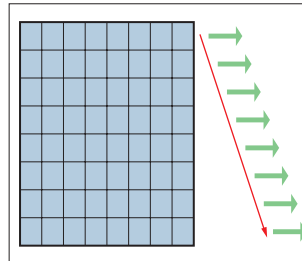


図18 フォワード読み出し

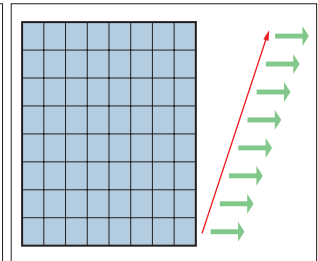


図19 バックワード読み出し

4.2. ライトシートモード撮像モード

ライトシートモードでは、ノーマルエリアモードと同様に、カメラ単体で動作する内部同期モードと外部トリガにより露光タイミングを決める外部トリガモードを備えています。

詳細なタイミングについては、後述の「タイミングチャート」の項を参照ください。

ライトシートモードは、カメラリンク出力のみ対応しています。

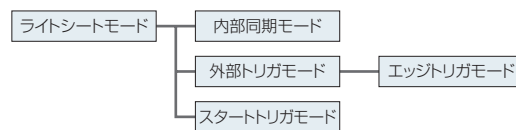


図20 ライトシートモード撮像モード

各撮像モードについては、3.2撮像モードを参照して下さい。

5 コンピュータとの接続

4.2.1. ライトシート内部同期モード

外部機器と連携しない場合、またはカメラが主体となり露光を行う場合に使用します。

4.2.2. ライトシートエッジトリガモード

ライトシートエッジトリガモードは、外部からのトリガ信号と同期して、露光を行いたい場合に使用します。露光時間はコマンドにて設定します。

4.2.3. ライトシートスタートトリガモード

スタートトリガモードは、動画取り込み開始のタイミングを外部から制御したい場合に使用します。特に、フレームレートを出来るだけ確保し、かつ感度を得たい場合に有効です。例えば、刺激があった場合に反応を開始する現象を撮像したい場合、刺激を加えるタイミングに同期して、連続画像取り込みを開始することが可能です。また、内部同期で動作するため最速フレームレートでの動作が可能となり、カメラに入力されたトリガ信号のエッジでカメラの露光を開始すると同時に、カメラを内部同期に切り替えます。

4.3. ライトシートモード外部トリガ出力信号

ライトシートモードでは、ノーマルエリアモードと同様にグローバル露光タイミング出力、プログラマブルタイミング出力、トリガレディ出力を外部に出力することができます。グローバル露光タイミング出力とトリガレディ出力は、ノーマルエリアモードの3.3.1、3.3.3をそれぞれ参照して下さい。

4.3.1. プログラマブルタイミング出力

プログラマブルタイミング出力は、ユーザが設定した出力タイミングからユーザが設定したパルス幅の信号を出力させることができます。出力タイミングは、Read End、Vsync、Hsyncのいずれかの基準を選択できます。また、その選択した基準に対して遅延時間も設定することができます。

4.3.1.1 Read End

センサの読み出し終了を基準とします。

4.3.1.2 Vsync

フレームバリッド信号の立ち上がりを基準とします。フレームバリッド信号は、1フレームの読み出し期間Highになります。

4.3.1.3 Hsync

ラインバリッド信号の立ち上がりを基準とします。ラインバリッド信号は、1水平ラインの読み出し期間Highになります。

4.3.2. Pre-Hsync

プログラマブルタイミング出力の基準信号をHsyncに設定している時、プログラマブルタイミング出力を出力する前にユーザが設定した数だけパルスを出力させることができ、これをPre-Hsyncと呼びます。プログラマブルタイミング出力を遅延させた時にその遅延時間の期間に設定した数のPre-Hsyncを出力します。Pre-Hsyncは、設定しているプログラマブルタイミング出力と同じパルス幅と遅延時間の波形になります。設定できるPre-Hsyncの数の上限は、プログラマブルタイミング出力のパルス幅と遅延時間の関係で決まります。

5.1. 出力・制御インターフェース

ORCA-Flash4.0 V2は画像出力・制御インターフェースとしてCamera LinkインターフェースとUSB 3.0インターフェースを搭載しています。なお、カメラに接続したインターフェースが自動的に有効となる為、切り替えを意識する必要はありません。

5.1.1. Camera Link インターフェース

Camera Linkインターフェースで接続を行う場合、400万画素、各16 bitの画像を100 フレーム/秒でパーソナルコンピュータへ転送可能です（フルフレーム使用時）。

画像全体の読み出しは、水平1024ライン目から始まり、1025ライン目、1023ライン目というように、中心部から上下端に向かって行きます。

規格	Camera Link 80 bit configuration 相当
画素クロック	85 MHz
画素出力	16 bit×5 画素/クロック

5.1.2. USB 3.0 インターフェース

USB 3.0インターフェースは、最高速500 MB/秒の汎用インターフェースです。多くのパーソナルコンピュータにおいて、標準搭載されており、またノート型パーソナルコンピュータにも搭載されています。

5.2. アプリケーションソフトウェアとドライバソフトウェア

ORCA-Flash4.0 V2は、弊社がドライバソフトウェアとして提供するDCAM-APIがサポートしています。DCAM-APIはORCA-Flash4.0 V2の他、弊社が提供する科学計測用デジタルカメラの多くをサポートしており、それらの特性の違いを吸収し、共通の呼び出し方法で制御できるように設計されています。

対応OS、I/Fカードならびにアプリケーションソフトウェアなど詳細な情報は担当営業までお問い合わせください。

なお、OSに64 bit版を推奨しているのと同様にアプリケーションソフトウェアについても64 bit対応版を推奨します。

6 仕様

6.1. カメラ性能

型名	C11440-22CU		
撮像素子	科学計測用CMOSイメージセンサ		
有効画素数	2048 (H) × 2048 (V)		
画素サイズ	6.5 μm (H) × 6.5 μm (V)		
有効素子サイズ	13.312 mm (H) × 13.312 mm (V)		
読み出しモード	スタンダードスキャンモード	スロースキャンモード	
読み出し時間	10 ms	33 ms	
読み出しノイズ (typ.)	1.0 electrons (median) 1.6 electrons (rms)	0.8 electrons (median) 1.4 electrons (rms)	
読み出し速度	Camera Link	USB 3.0	Camera Link/USB 3.0
全画素読み出し	100 フレーム/秒	30 フレーム/秒	30 フレーム/秒
2048×1024 ^①	200 フレーム/秒	60 フレーム/秒	60 フレーム/秒
2048×8 ^①	25 655 フレーム/秒	7894 フレーム/秒	7696 フレーム/秒
ピンニング ^②	2×2、4×4		
サブアレイ	可能 ^③		
飽和電荷量 (typ.)	30 000 electrons		
ダイナミックレンジ ^③	37 000 : 1		
S/N	91 dB		
冷却方式 (ペルチエ冷却)	センサ温度	暗電流 (typ.)	
冷却温度/暗電流 (typ.)	空冷	-10 °C (室温: +20 °C)	0.06 electrons/pixel/s
	水冷	-20 °C (水温: +20 °C)	0.02 electrons/pixel/s
	最大水冷	-30 °C (水温: +15 °C)	0.006 electrons/pixel/s
A/D出力	16 bit		
直線性	$\gamma = 1 \pm 0.03$		
露光時間	内部同期モード	1 ms ~ 10 s (全画素読み出し時) ^④	
	内部同期サブアレイ時	38.96 μs ~ 10 s	
	外部トリガ/サブアレイ時	1 ms ~ 10 s	
外部トリガモード	エッジトリガ (ノーマル、グローバルリセット)、 レベルトリガ (ノーマル、グローバルリセット)、 読み出し同期トリガ、スタートトリガ		
トリガ遅延機能	0 μs ~ 10 s (10 μsステップ)		
トリガ出力	グローバル露光タイミング出力 プログラマブルタイミング出力×3 トリガレディ出力		
レンズマウント	Cマウント		
インターフェース	Camera Link 80 bit configuration 相当 ^⑤ / USB 3.0		
Camera Link出力クロック	85 MHz		
コネクタ仕様	Mini-Camera Link		
トリガコネクタ仕様	SMA		
電源	AC 100 V ~ AC 240 V、50 Hz/60 Hz		
消費電力	約 70 VA		
保存周囲温度	-10 °C ~ +50 °C		
動作周囲温度	0 °C ~ +40 °C		
動作周囲湿度	70 % 以下 (ただし結露しないこと)		

- ① 最速のフレームレートを達成するための設定エリアは、画面中央部を中心とした上下対称のエリアです。水平方向並びに画面中央部以外のエリアはDCAMと組み合わせて実現されます。
- ② カメラ内でデジタル処理 (デジタルピンニング) しています。
- ③ 飽和電荷量/読み出しノイズ (スロースキャンモード、median時) の計算結果です。
- ④ 内部同期モードでサブアレイ読み出しモードを使用する場合は、サブアレイサイズ、位置により最小露光時間が変わります。
- ⑤ Camera Link 80 bit configuration をベースとしたオリジナル出力です。

6.2. 動作周囲温度・湿度

電気機器または電気装置において動作環境温度は非常に重要です。この温度範囲以外で使用した場合には、カメラの性能が保証されないばかりか、カメラの故障にもつながる可能性があるからです。特に冷却CCD・CMOSカメラ、中でも空冷方式の場合には動作環境温度の高さがカメラの冷却温度に影響を与え、それが暗電流ノイズの増加につながる場合がありますので、より重要になります。一般的に高感度カメラの使用において、カメラヘッドは光を遮断するために暗幕などで覆われた部屋や暗箱内部に置かれることが多く、空気の流れが悪く温度も高くなることも多くなります。コントローラも同様に部屋の隅の空気の流れの悪い場所に置かれることが多く、そのような場所の温度は室温よりも高くなる場合があります。ORCAR-Flash4.0 V2の動作環境温度は 0 °C ~ +40 °C と、通常の室温と考えられる +20 °C ~ +30 °C に対し動作周囲温度範囲が広く設定されていますので、安心してご使用いただけます。

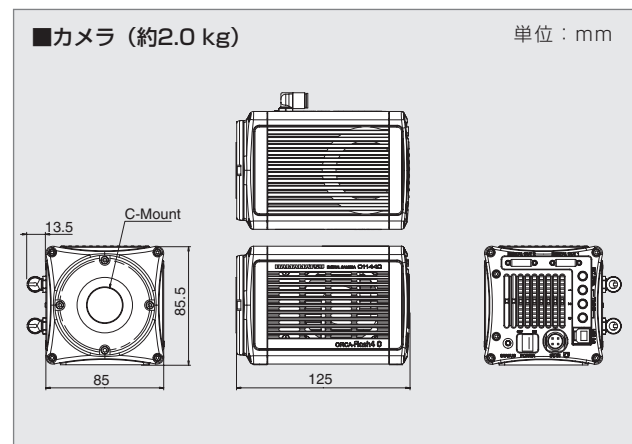
また、湿度も重要です。周囲湿度が高いほど結露は発生しやすくなります。特にカメラに冷却機能があり、環境温度に対し温度が低くなるような部分がある場合には環境湿度も重要になります。

ORCA-Flash4.0 V2は環境湿度70 %以下で、かつ結露しない環境でお使いいただくことを推奨いたします。

6.3. 安全規格・適用規格

CEマーキング
EMC指令 適用規格
EN61326-1:2013 Class A

6.4. 外形寸法図



7 科学計測用CMOSとEM-CCDのS/N

この章では、カメラにより科学計測を行う場合、非常に重要な要素であるS/Nについて科学計測用CMOSと従来微弱光計測に使われてきた電子増倍型CCD (EM-CCD) を比較します。

7.1. S/Nの計算式

科学計測用CMOSとEM-CCDのS/Nを考える上で、重要な要素として、入力信号にかかわる入力光量、量子効率、EMゲインと、ノイズにかかわる光ショットノイズ、ノイズ係数、読み出しノイズ等があります。

7.1.1. 入力信号

a)入力光量 (P)

科学計測用CMOSとEM-CCDは、画素サイズが異なります。しかし、S/Nについて本質的議論をするため、画素面積については考慮しません。入射光量は、1画素に入射する光子量 (光の粒子数) にて検討を行います。なお、測定を行う場合に2つのカメラで光学倍率を変更することにより、1画素に入射する光子数を等しくすることが可能です。

b)量子効率 (QE)

光を電荷に変換する効率です。

c)EMゲイン (M)

EM-CCDにおける電荷の増倍度を表します。EM-CCDの最大ゲインは、1200、科学計測用CMOSは、1 です。

これにより、1画素で検出される入力信号は、下記となります。

$$S = P \times QE \times M$$

7.1.2. ノイズ

d)光ショットノイズ

入射光が電荷変換される際の揺らぎに起因するノイズです。

$$\sqrt{(\text{入力光量} \times \text{量子効率})}$$
 となります。

e)ノイズ係数 (Fn)

EM-CCDでは、素子内部に備える増倍レジスタにより、電荷増倍を行います。この電荷増倍の影響によるノイズをExcessノイズと呼びます。Excessノイズによる係数は、統計学的に計算され、 $\sqrt{2}$ となります。なお、科学計測用CMOSでは、電荷増倍がないため、係数は1です。

f)読み出しノイズ (Nr)

科学計測用CMOS、EM-CCD上の電荷—電圧変換アンプ上でのリセットに起因するノイズです。

g)背景光 (Ib)

背景光があり、その上に目的とする対象光が重なる状況を想定し、背景光に起因するノイズについても考慮します。

h)暗電流 (Id)

科学計測用CMOS、EM-CCDでは、光を入射しない場合でも発生する信号すなわち、暗電流が存在します。

これにより、ノイズの総和は下記のようになります。

$$N = \sqrt{(\text{光ショットノイズ})^2 + (\text{読み出しノイズ})^2 + (\text{暗電流})^2 + (\text{背景光ノイズ})^2}$$

7.1.3. S/N

3.1.1 入力信号、3.1.2 ノイズの結果から、S/Nを算出すると下記の式となります。

$$\begin{aligned} S/N &= \frac{P \times QE \times M}{\sqrt{(F^2 \times M^2 \times P \times QE + Nr^2 + F^2 \times M^2 \times Id + F^2 \times M^2 \times Ib \times QE)}} \\ &= \frac{P \times QE}{\sqrt{(F^2 \times (QE(P+Ib) + Id) + (Nr/M)^2)}} \end{aligned}$$

7.1.4. EM-CCDのExcessノイズについて

S/Nの理論式において、EM-CCDでは、EMゲインが十分に大きい場合、 $(Nr/M)^2$ 項は、無視できます。また、背景光なし、露光時間が短時間であると仮定すれば、S/Nは下記のように記述できます。

$$\begin{aligned} S/N(\text{EM-CCD}) &= \frac{P \times QE}{\sqrt{(F^2 \times QE \times P)}} \\ &= \sqrt{(QE/2 \times P)} \end{aligned}$$

また、科学計測用CMOSにて、光量が十分に入射し読み出しノイズが無視できるような状況において、S/Nは下記のようになります。

$$\begin{aligned} S/N(\text{CMOS}) &= \frac{P \times QE}{\sqrt{(F^2 \times QE \times P)}} \\ &= \sqrt{(QE \times P)} \end{aligned}$$

EM-CCDと科学計測用CMOSのS/N式を比較すると、EM-CCDでは量子効率に係数1/2が乗算されています。これは、EM-CCDでは、光が十分にある状況において、Excessノイズの影響により、量子効率が半分であることと同等であることを意味します。

7.2. S/Nの比較

7.2.1. 科学計測用CMOS VS EM-CCD 背景光がない場合

科学計測用CMOSとEM-CCDにおいて、入射光量が変化した場合のS/Nを表したのが、図21です。なお、ここでのS/Nは、量子効率100%、ノイズが0の理想的なデバイスを基準とした相対値です。

対象とするカメラは、ORCA-Flash4.0 V2 (科学計測用CMOS)、ImagEM (EM-CCD)です。設定条件は、EM-CCDのEMゲイン×1200、露光時間30 ms、画素あたりの光量を同一としています。この場合、光量が4フォトン/画素 (スロースキャン使用時) を超えると、ORCA-Flash4.0 V2がImagEMのS/Nを上回ります。

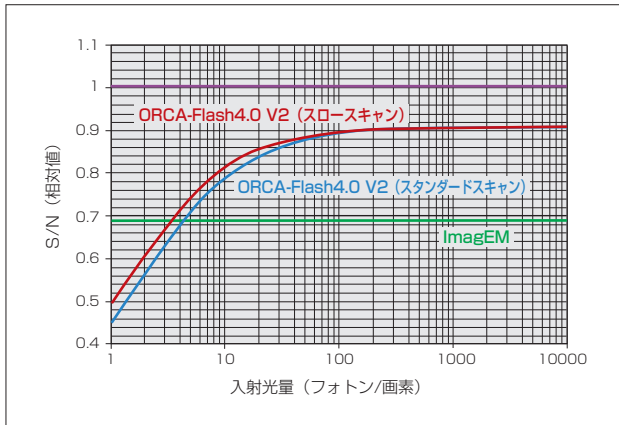


図21 入射光量とS/N (背景光がない場合)

7.2.2. 科学計測用CMOS VS EM-CCD 背景光がある場合

撮影を行う場合、対象光のみが存在する場合と、背景光があり、それに重なって目的光が存在する場合があります。細胞の蛍光イメージングでは多くの場合、背景光が存在します。この背景光が存在する場合についても、S/Nを考えてみます。

背景光が10フォトン/画素の場合に、入射光量に対し、S/Nがどう変化するかを示したのが、図22です。

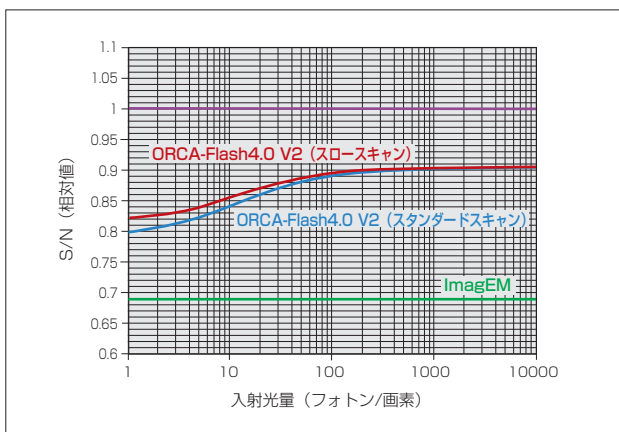


図22 入射光量とS/N (背景光がある場合)

この状況においては、すべての光量において、ORCA-Flash4.0 V2がEM-CCDのS/Nを上回ります。

また、入射光量が5フォトンにおいて、背景光量が変化した場合、S/Nがどのように変わるのかを表したのが図23です。

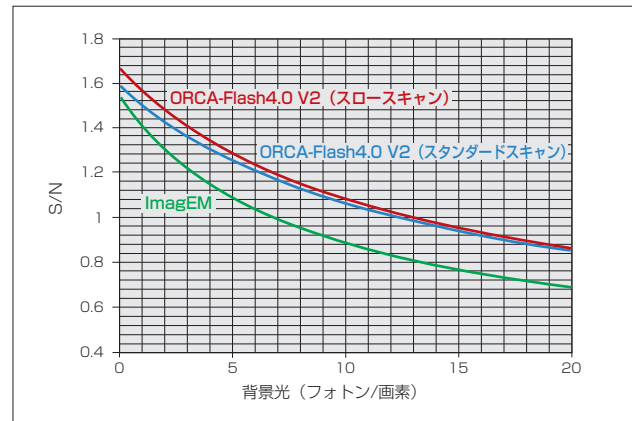


図23 背景光の変化とS/N (入射光量 5フォトン)

図23より、背景光の有無によらずORCA-Flash4.0 V2のS/NがEM-CCDを上回るのが分かります。

7.2.3. 微弱光領域での科学計測用CMOS と EM-CCD の比較結果

ORCA-Flash4.0 V2は、高い量子効率と少ない読み出しノイズを持ち、ノイズ係数が1であるため、EM-CCDに匹敵する感度を持ちます。特に、微弱光領域 (>2~3フォトン/画素) において、EM-CCDよりS/Nが良いことに加え、広い視野での撮像が可能です。また、早いフレームレートでの読み出しが可能です。

従来、蛍光イメージング等微弱光撮像では、CCDまたはEM-CCDが使用されてきました。しかし、多くの蛍光イメージングでは、2~3フォトン/画素以上の光量があります。このため、多くの微弱光撮像においてORCA-Flash4.0 V2にて置き換えが可能です。

EM-CCDは、背景光がなく、かつ非常に暗い光量 (<2~3フォトン/画素) においては、最も良いS/Nを得ることができます。

8 各種タイミングチャート

8.1. タイミングチャートの説明

8章では、各撮像モードについてタイミングチャートを用いて説明します。まず、そのタイミングチャートの見方について下に記載します。

図24の横軸は、時間の経過を表しています。黄色で着色された部分が、CMOSセンサの露光状態を表します。図上部が、CMOSセンサの画面上部を、図下部がCMOSセンサの画面下部を表します。CMOSセンサは、横一ライン単位で露光を制御しているため、CMOSセンサの横方向のタイミングは図では省略します。この図は、外部トリガ入力時のものになります。

外部トリガ入力 (①) 後、センサ読み出し (前フレームのデータを読み出します。)を開始し (②)、同時に画面の中央 (1023H、1024H) のラインが露光開始します。また、センサ読み出しの開始とともに、カメラデータ出力が開始します。(③)

時間経過と共に、ライン単位で順次前フレームの読み出し、次フレームの露光が開始されます。

全ラインともに露光している期間 (図中赤の四角部分) では、グローバル露光出力 (④) が出力されます。また、1フレームの読み出しが終了すれば、次の外部トリガ受付が可能となるため、トリガレディ出力 (⑤) が出力され、同時に読み出しされたデータがUSB 3.0が接続されている場合、出力されます (⑥)。

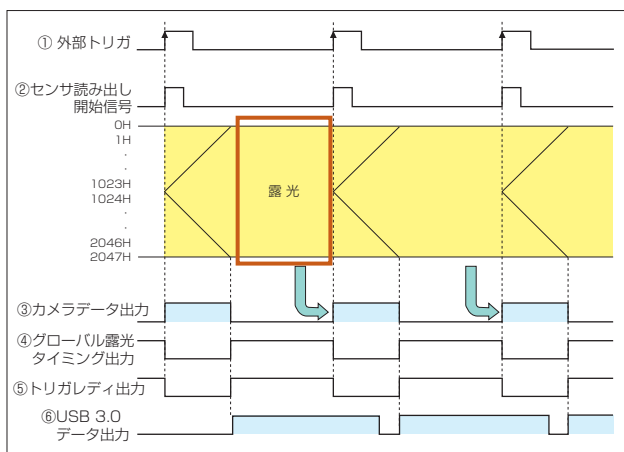


図24 撮影モード

8.2. ノーマルエリアモード

8.2.1. 内部同期モード

ORCA-Flash4.0 V2は、露光時間を外部からコマンドにて設定することが可能で、カメラ単体にて動作する内部同期モードを備えています。内部同期モードは、ノーマル読み出しモード (露光時間が1フレーム読み出し時間より長い場合) と電子シャッターモード (露光時間が1フレーム読み出し時間より短い場合) を備えています。これらのモードは露光時間設定により、自動的に切り替わります。

8.2.1.1. ノーマル読み出しモード

ノーマル読み出しモードは、設定した露光時間が1フレームの読み出し時間と同じか、より露光時間が長いモードです。露光時間を1フレームの読み出し時間と同じか、長く設定すると、露光が始まり、全画素において露光が行われている期間は、グローバル露光タイミング出力信号が出力されます。露光が終わりセンサの読み出しが開始されると、センサ読み出し開始信号が出力されると同時に、カメラデータが出力されます。

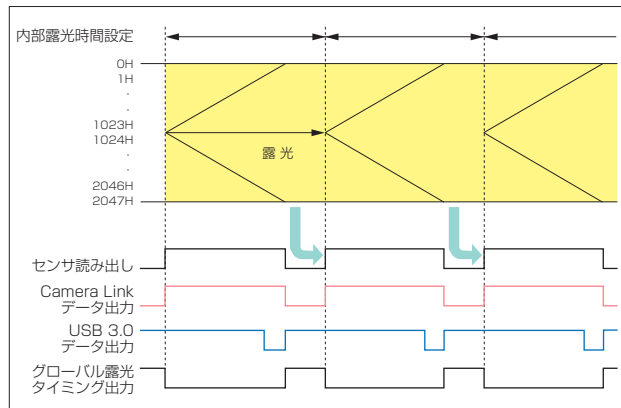


図25 ノーマル読み出しモード

8.2.1.2. 電子シャッターモード

電子シャッターモードは、ノーマル読み出しモードでは光量が多く出力信号がオーバーフローする場合に、適切な信号量で撮像するために使用します。露光時間は1フレームより短くなっていますが、フレームレートは100フレーム/秒 (全画素読み出し時) となります。基本的なタイミングは、ノーマル読み出しモードと同じですが、露光時間が短いため、グローバル露光タイミング出力は出力されません。

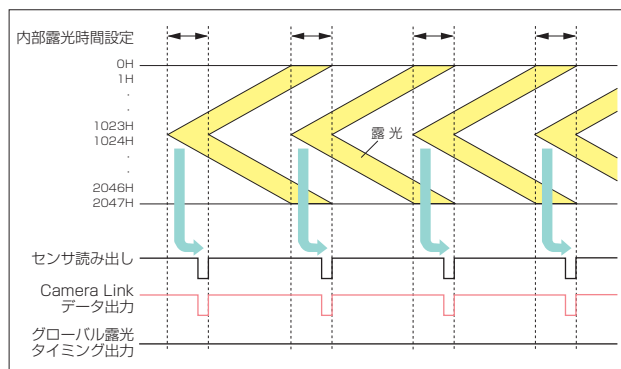


図26 電子シャッターモード

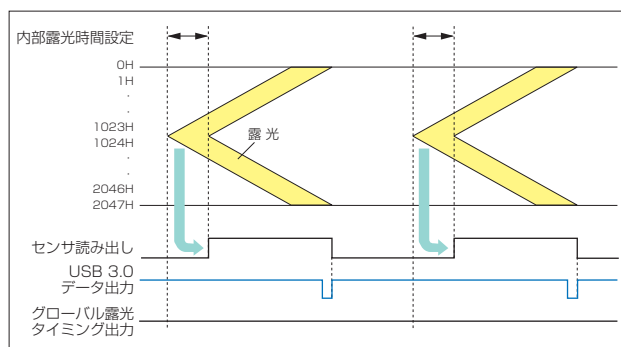


図27 電子シャッターモード (USB 3.0)

8.2.2. 外部トリガモード

ORCA-Flash4.0 V2は、外部機器と同期して画像取り込みを行うために外部機器がマスタとなり、カメラがスレーブとなる様々な外部トリガモードを備えています。

8.2.2.1. エッジトリガモード（ノーマルリセット）

エッジトリガモードは、外部からのトリガ信号に同期して、露光を行いたい場合に使用します。

露光時間は、外部からコマンドにて設定します。エッジトリガモードでは、カメラに入力されたトリガ信号のエッジ（立上がり/立下がりエッジ）タイミングで中央のライン（下図中 1023H、1024H）の露光を開始します。そして、1ラインの読み出し時間経過後、次のライン（1022H、1025H）の露光を開始し、その後各ラインは順次露光を開始します。図28に立ち上がりエッジ例のタイミングチャートを示します。

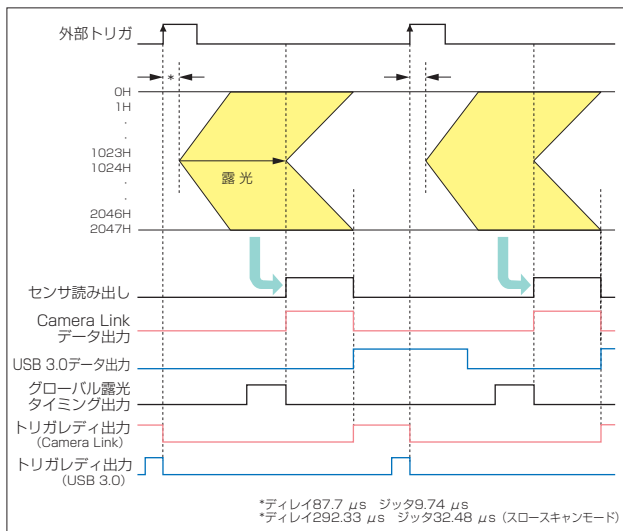


図28 エッジトリガモード（ノーマルリセット）

8.2.2.2. エッジトリガモード（グローバルリセット）

グローバルリセットにおけるエッジトリガモードでは、カメラに入力されたトリガ信号のエッジ（立上がり/立下がりエッジ）で、グローバルリセットを行います。それと同時にグローバル露光が始まり、読み出しはノーマル読み出しによって読み出されます。リセット以外のタイミングは、エッジトリガモード（ノーマルリセット）と共通となります。

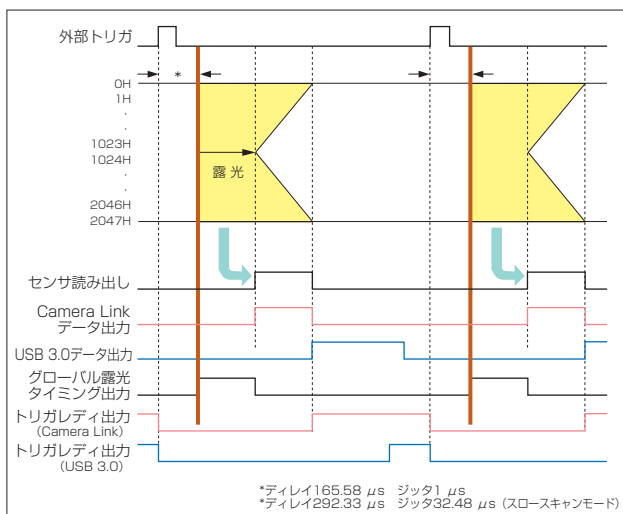


図29 エッジモード（グローバルリセット）

8.2.2.3. レベルトリガモード（ノーマルリセット）

レベルトリガモードは、外部からのトリガ信号に同期して、露光を行い、かつ露光時間も外部からトリガ信号で制御したい場合に使用します。

レベルトリガモードは、入力されるトリガ信号がLowからHigh（もしくはHighからLow）へ切り替わったタイミングで露光を開始し、High（もしくはLow）の期間が終了するまで露光を続けるモードです。トリガレベルHighの場合の例を以下に示します。トリガ信号がHighになった時、中央ライン（1023H、1024H）の露光を開始し、1ラインの読み出し時間経過後、次のラインの露光を開始し、その後各ラインは順次露光を開始します。信号レベルがLowになった瞬間に1ライン目の露光を中止し、信号の読み出しを開始します。各ラインの露光時間は、トリガレベルがHighになったときからLowになるまで時間となります。

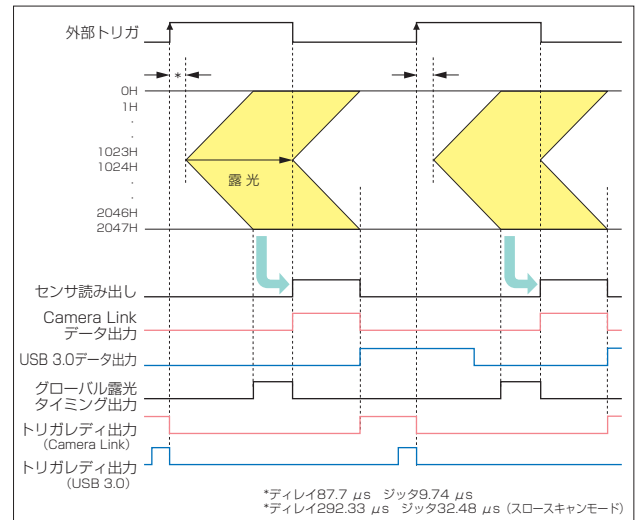


図30 レベルトリガモード（ノーマルリセット）

8.2.2.4. レベルトリガモード（グローバルリセット）

グローバルリセットにおけるレベルトリガモードでは、入力されるトリガ信号がLowからHigh（もしくはHighからLow）へ切り替わったタイミングで、グローバルリセットが行われ、同時露光を開始し、High（もしくはLow）の期間が終了するまで露光を続けるモードです。読み出し方はエッジトリガモードと同様に、ノーマル読み出しによって読み出されます。リセット以外のタイミングは、レベルトリガモード（ノーマルリセット）と共通となります。

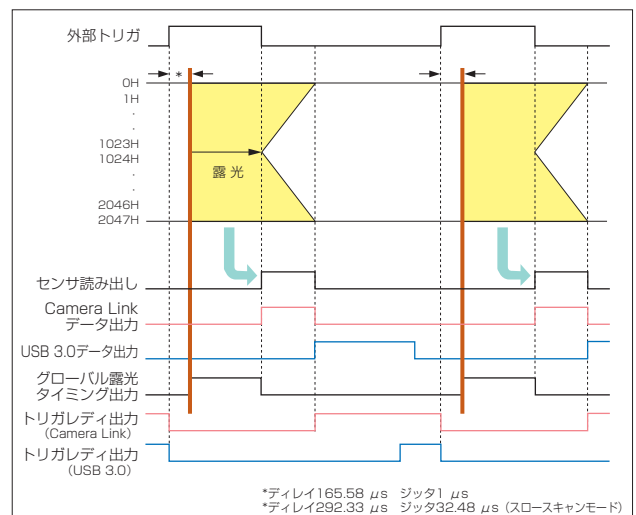


図31 レベルトリガモード（グローバルリセット）

8.2.2.5. 読み出し同期トリガモード

読み出し同期トリガモードは、カメラに入力されたトリガ信号のエッジ（立上がり/立下がりエッジ）でカメラの露光を終了して読み出しを開始、同時に次の露光を開始します。すなわち、外部トリガのエッジからエッジの間隔が露光時間になります。

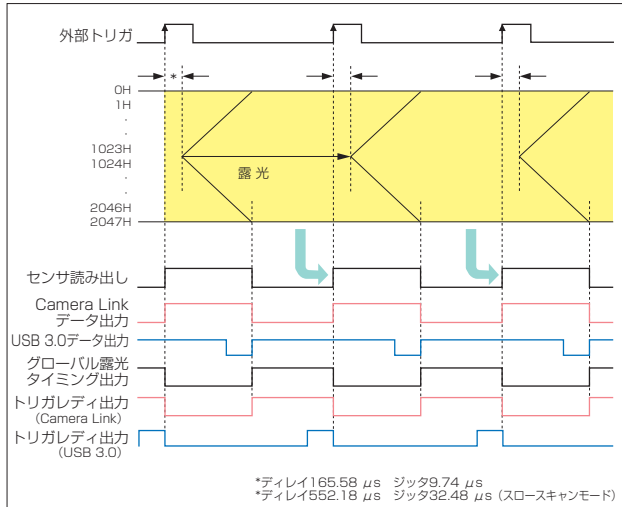


図32 読み出し同期トリガモード（立上がりエッジ）

また、読み出し同期トリガモードでは、コマンド設定により、任意の入力トリガ数に1回の読み出しを行う間引き読み出しが可能です。下図は、3回の入力トリガに対して、1回の読み出しを行っている例です。

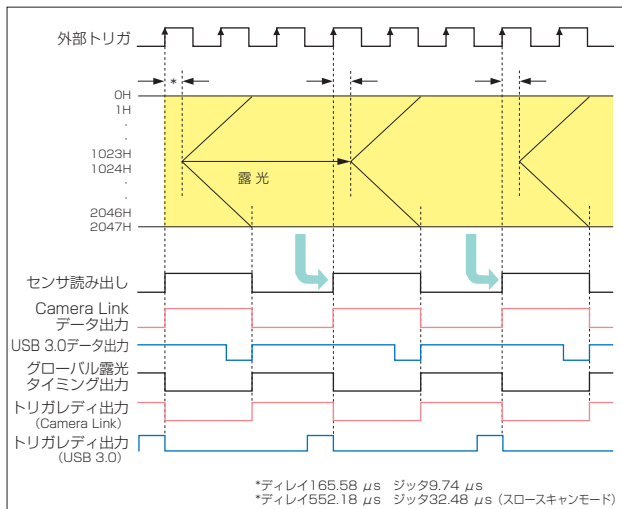


図33 読み出し同期トリガモード（間引き時）

8.2.2.6. スタートトリガモード

スタートトリガモードは、1回の外部トリガパルスで連続画像を取り込むモードで、内部同期で動作するため最速フレームレートでの動作が可能です。

スタートトリガモードは、カメラに入力されたトリガ信号のエッジ（立ち上がり/立ち下がりエッジ）でカメラの露光を開始すると同時に、カメラを内部同期に切り替えます。

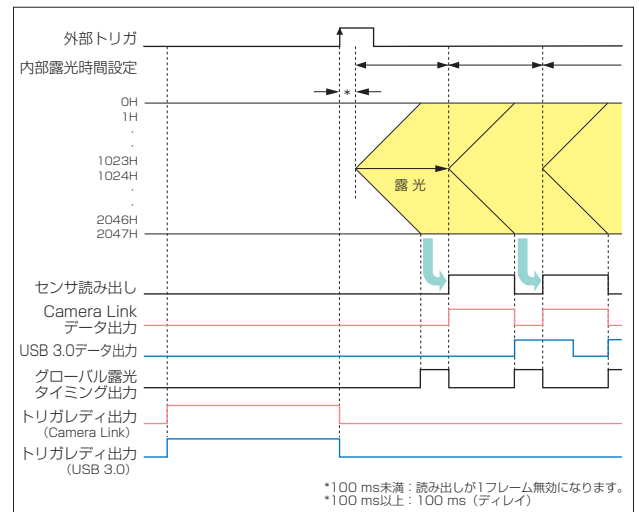


図34 スタートトリガモード（立上がりエッジ）

8.2.2.7. スロースキャンモード

スロースキャンモードでは、読み出しスロープが、10 msから30 msに変更になり、最速フレームレートは、30 フレーム/秒になります。読み出しスロープ以外の各トリガ入出力の関係は、変更ありませんので、スタンダードスキャンの図25～図34のタイミング図を参照して下さい。

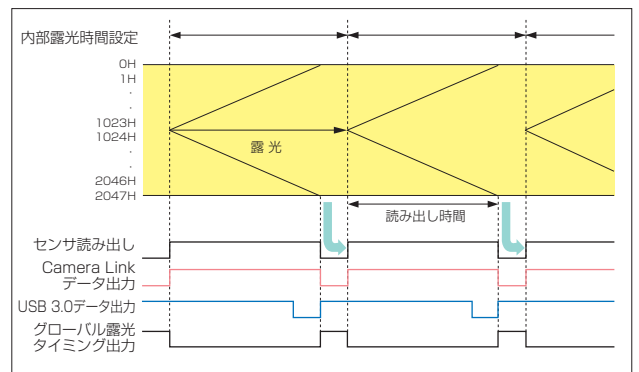


図35 スロースキャンモード 内部同期モード

8.3. ライトシートモード

8.3.1. 内部同期モード

ノーマルエリアモードと同様に、露光時間を外部からコマンドにて設定することが可能で、カメラ単体にて動作する内部同期モードを備えています。内部同期モードでは、外部コマンドで露光時間と読み出し方向を設定する事が出来ます。フォワード読み出し時には、センサ上部の0Hのラインから1Hごとに2047Hまで露光が行われていきます。露光が終わりますと0Hラインから順次読み出されていきます。

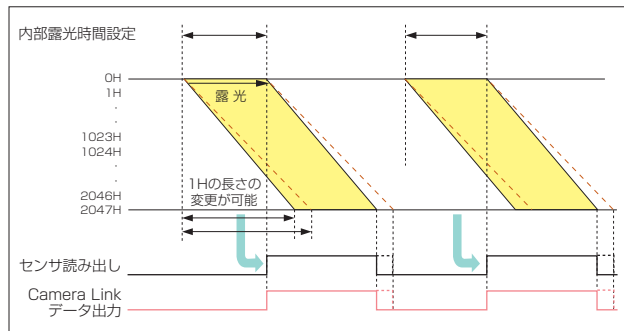


図36 内部同期モード（フォワード読み出し）

8.3.2. エッジトリガモード

エッジトリガモードでは、カメラに入力されたトリガ信号のエッジ（立ち上がり/立ち下がりエッジ）で、0Hから順次露光を行います。露光が終了すると、水平1ラインずつ読み出していきます。

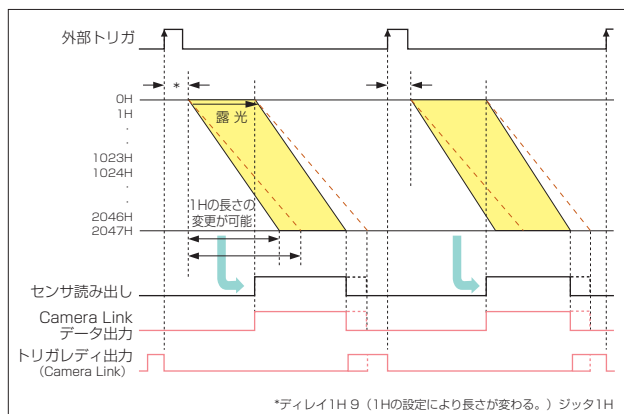


図37 エッジトリガモード（フォワード読み出し）

8.3.3. スタートトリガモード

スタートトリガモードでは、ノーマルエリアモードと同様に動画取り込み開始のタイミングを外部から制御したい場合に使用します。スタートトリガモードは、カメラに入力されたトリガ信号のエッジ（立ち上がり/立ち下がりエッジ）でカメラの露光を開始すると同時に、カメラを内部同期に切り替えます。

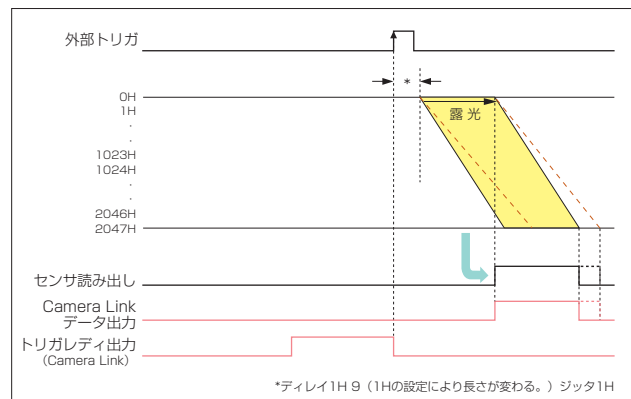


図38 スタートトリガモード（フォワード読み出し）

8.4. トリガ出力

ORCA-Flash4.0 V2では、カメラを外部機器と同期させるためにカメラがマスタとなり外部機器がスレーブとなる様々なトリガ出力信号を備えています。

8.4.1. グローバル露光タイミング出力

すべてのラインが同時に露光している状態にある期間を出力します。ローリングシャッタの場合、各ラインで露光のタイミングが異なるため、現象が2フレームに分かれて観測されることがありますが、長時間露光等ですべてのラインが同時に露光しているタイミングを活用することで、この期間に起こる現象に対してグローバル露光が可能となります。詳細タイミングについては、図25～図35を参照してください。なお、ライトシートモードでは、グローバル露光タイミング出力は、出力されません。

8.4.2. プログラブルタイミング出力

プログラブルタイミング出力は、センサの読み出し終了、Vsync（垂直同期信号）、Hsync（水平同期信号）のいずれかを基準として、コマンドにより設定される遅延時間とパルス幅をもったパルスが出力されます。

プログラブルタイミング出力を使用することにより、簡易に外部機器との同期が可能となり簡易な遅延ユニット、パルス発生器の代わりとなります。

設定範囲は遅延時間が0 μ s ~ 10 s、パルス幅が10 μ s ~ 10 sです。

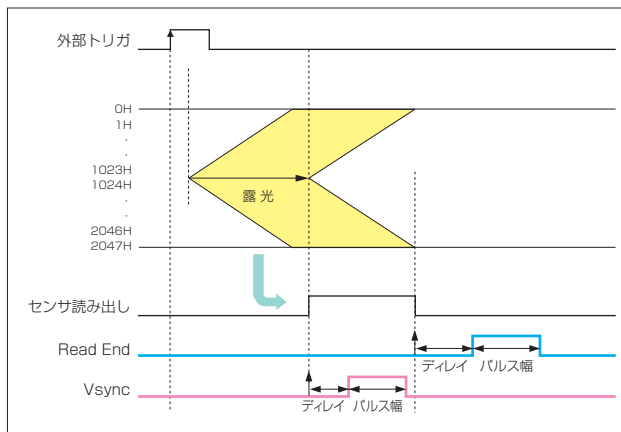


図39 プログラブルタイミング出力（ノーマルエリアモード、エッジトリガ）

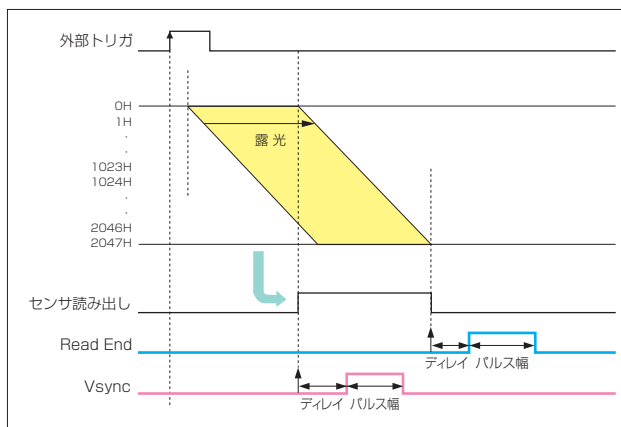


図40 プログラブルタイミング出力（ライトシートモード、エッジトリガ）

8.4.3. Pre-Hsync

プログラブルタイミング出力の基準信号をHsyncに設定している時に信号を設定数だけ出力できます。基準Hsyncの信号をディレイさせて、そのディレイの間に設定したPre-Hsyncの数パルスを出力します。出力する信号は、プログラブルタイミング出力で設定しているパルス幅とディレイと同じ波形になります。この出力はライトシートモードのみとなります。

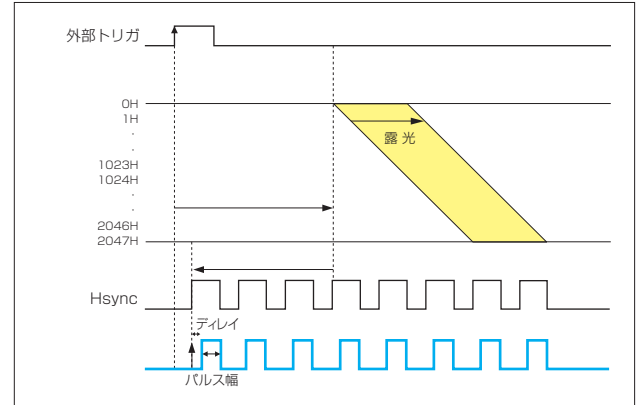


図41 Pre-Hsync 出力（ライトシートモード、エッジトリガ）

8.4.4. トリガレディ出力

外部トリガモードで動作している時、1回の露光と次の露光の間隔を短くしたい場合、トリガレディ出力を使用すれば可能です。

外部トリガモードにてカメラが動作している時、例えばエッジトリガの場合、露光時間が終了して初めて、次の露光を開始することができます。このため、露光中は次の露光開始のトリガを受け付けることができません。カメラが露光開始可能な状態であることを外部に出力し、そのタイミングに合わせてトリガをカメラに入力すれば、無駄な時間を極力減らすことが可能となります。このように、カメラがトリガ受付可能な状態であることを出力するのがトリガレディ出力です。

★ORCA、ImagEMは、浜松ホトニクス(株)の登録商標です。 その他記載商品名、ソフト名等は該当商品製造会社の商標または登録商標です。
※カタログに記載の分光感度特性グラフは代表例を示すもので、保証するものではありません。
※本カタログの記載内容は2015年9月現在のものです。本内容は改良のため予告なく変更する場合があります。

浜松ホトニクス株式会社

www.hamamatsu.com

システム営業推進部 〒431-3196 浜松市東区常光町812
TEL (053)431-0150 FAX (053)433-8031
E-Mail sales@sys.hpk.co.jp

仙台営業所 TEL (022)267-0121 FAX (022)267-0135

筑波営業所 TEL (029)848-5080 FAX (029)855-1135

東京営業所 TEL (03)3436-0491 FAX (03)3433-6997

中部営業所 TEL (053)459-1112 FAX (053)459-1114

大阪営業所 TEL (06)6271-0441 FAX (06)6271-0450

西日本営業所 TEL (092)482-0390 FAX (092)482-0550

Cat. No. SCAS0080J04
SEP/2015 HPK