

検査機用高速カラーCIS “KD-CXシリーズ”

山縣浩作* 太田 章*
伊藤 篤*
時田直幸*

High-speed Color CIS "KD-CX Series" for Inspection Machine

Kosaku Yamagata, Atsushi Ito, Naoyuki Tokida, Akira Ota

要 旨

2017年度で量産30周年を迎える三菱電機の密着イメージセンサ(Contact Image Sensor : CIS)事業の製品群は、複写機や紙幣判別分野等の画像読み取りデバイスとして広く使われている。

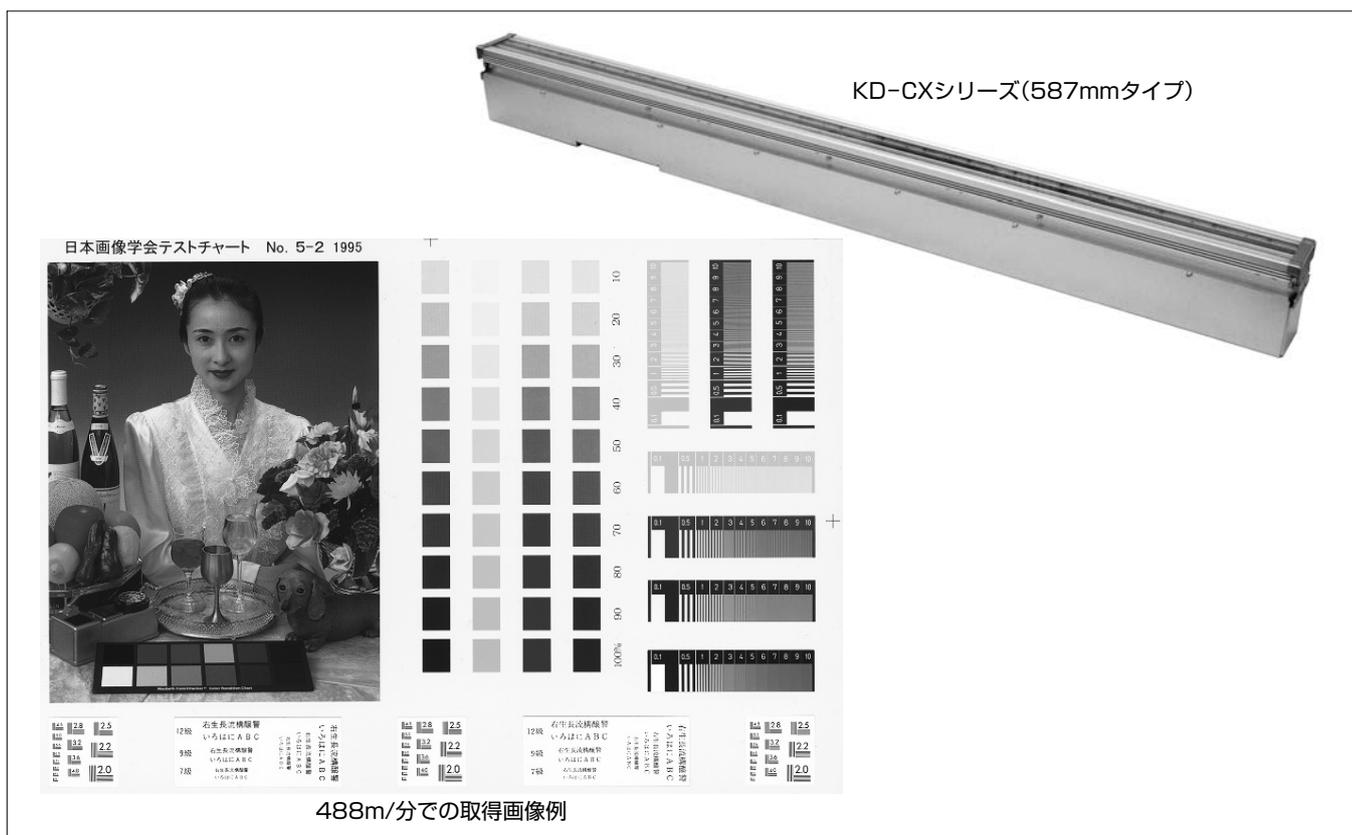
今回、マシンビジョン分野、主に商業用カラー印刷機の光学検査用途向けに解像度300dpi(最高解像度は600dpi)で96kHz(印刷物の搬送速度換算で488m/分、従来比4倍)の高速読み取り性能を持つカラーCIS“KD-CXシリーズ”を開発した。最高動作速度35MHzのカラーセンサIC(フォトダイオードアレー)を搭載したほか、画像インタフェースには25Gbpsの大容量データ転送が可能なCoaXPress^(注1)を採用し、高速印刷機のフルカラーインラ

イン検査に適用可能な性能をCISとして初めて^(注2)実現した。断面サイズ112×62(mm)のコンパクトな筐体(きょうたい)内にレンズと照明を一体化しており、ラインカメラと照明を複数配置した従来の検査システムと比べて小さなスペースに設置可能で、取付け・メンテナンスも容易である。読み取りサイズは、印刷用紙サイズに合わせた367mm、587mm、807mmの3種類をラインアップした。

読み取り性能とユーザビリティを大きく改善したKD-CXシリーズは、今後も需要の高まるマシンビジョン分野の生産性向上・安心の提供に貢献していく。

(注1) CoaXPressは、一般社団法人日本インダストリアルイメージング協会の登録商標である。

(注2) 2016年12月7日現在、当社調べ



検査機用高速カラーCIS“KD-CXシリーズ”と取得画像例

検査機用高速カラーCIS“KD-CXシリーズ”によって、高速印刷装置のフルカラーインライン検査に適用可能な性能をCISとして初めて実現した。コンパクトな筐体内にレンズと照明を一体化しており、ラインカメラと照明を複数配置した従来の検査システムと比べて小さなスペースに設置可能である。左下の画像は、日本画像学会のテストチャートをKD-CXシリーズの最高速度で読み取ったものである。

1. ま え が き

2013年度に、印刷機やフィルム製造装置用の光学情報読み取りイメージセンサとして“KD-AXシリーズ”を立ち上げ、当社の密着イメージセンサ(CIS)としては初めてマシンビジョン業界に参入した。従来、複数のカメラとレンズ、照明を用いて構成していた検査システムを、照明内蔵のコンパクトなCIS 1台で実現できる利点があり、徐々にCIS方式が採用されるようになってきた。しかし、商業用印刷機やフィルム製造ラインにおける製造工程中(インライン)の画像検査には、複写機や紙幣判別分野で利用されてきたCISと比べ更に高速読み取りが求められるため、KD-AXシリーズでは印刷機のオフライン検査機としてしか対応ができなかった。また、初めてマシンビジョン業界へ参画したこともあり、仕様・機能面で改善の余地があった。今回、これらの市場要求を踏まえて性能を大幅に改善した新シリーズの製品化を行った。

本稿では、今回のKD-CXシリーズ製品化に当たり、特に技術的課題の大きかった高速化の実現方法と利便性向上について述べる。

2. CISの構造と動作原理

図1に一般的なCISの構成部品とその断面を示す。ガラス面上を印刷物や紙幣などの読み取り対象物を通る際、内蔵したLED光源によって照射された対象物からの反射光がロッドレンズアレーを介して、CMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor)ラインセンサ(以下“センサIC”という。)上に結像される。画素は図の奥方向に一定間隔で配置されている。画素間隔はCISの用途によって100から600dpiまでの種類がある。また、読み取り幅は、紙幣判別用途向けでは紙幣の短手サイズの100mm及び長手サイズの200mm程度、複写機向けではA3用紙短手のおよそ300mmサイズとA0用紙の900mmサイズのバリエーションがあり、製品長さ全体にわたって画素が一列に(カラーセンサの場合、RGB(Red Green Blue)の三列で)配置される。画素はフォトダイオードアレーであり、ここで光電変換された電気情報がセンサICから出力

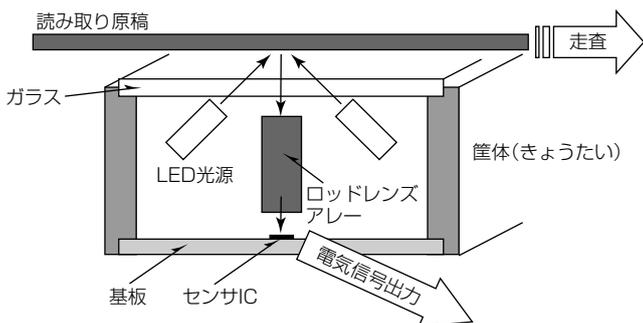


図1. CISの原理図

され、CIS上の基板に配置されたICでアナログ/デジタル変換とデジタル画像処理が行なわれ、各種装置用の出力インタフェースを介してデジタル電気信号として出力される。使用しているロッドレンズアレーは正立等倍光学系であり、画像歪(ひず)みが少なく、読み取り対象物のサイズを精度良く検出することが可能である。

ただし、CISは、この正立等倍光学系のロッドレンズアレーを使うことで非常にコンパクトになる一方、焦点深度が浅く焦点の合う距離がガラス面上の近接領域に限られることがデメリットとなる。これが、密着イメージセンサと呼ばれる所以(ゆえん)であるが、実際はガラス面から数mm離れた位置を焦点にする製品も多い。マシンビジョン向けCISでは未乾燥のインクなど接触状態で読み取りの難しい対象物が多いため、この距離を従来設計手法の中でできるだけ離れたガラス面から12mm(光源レス製品ではレンズ上面から14.5mm)離れた位置を焦点の設計中心としている。

3. 高 速 化

従来のKD-AXシリーズでは、対応可能な最大媒体搬送速度は、ラインレートが解像度によらず最大22kHzであったため、解像度600dpi読み取り時で約58m/分、解像度300dpi読み取り時で約116m/分であった。今回、市場調査の結果を踏まえ、印刷機のインライン検査用途に対応するため、同用途で主として使用されている解像度300dpi(検査対象となる欠陥サイズ0.1mm相当)で、媒体搬送速度450m/分以上の性能を出すことを目標に製品開発を行った。今回開発したKD-CXシリーズの内部回路ブロック図を図2に示す。3.1節以降で、速度制約となる部分の課題解決方法について述べる。

3.1 センサICの高速化

高速化及び利便性向上(4章)を実現するため、KD-CXシリーズ用にセンサICを新たに開発した。このセンサICの駆動周波数は複写機向けCIS用に高速化を実現したセンサICと同じ35MHz(従来のKD-AXシリーズ比で2.2倍)とし、機能として新たにビニング機能と電子シャッター機能(4.1節)を組み込んだ。ビニング機能とは、高解像度のセンサにおいて、低解像度設定時に複数の画素の電荷情報を1つの画素として出力する機能である。ビニング処理に要する時間が追加となるものの、出力する画素数が減少するため、低解像度設定時の情報読み出し速度が向上できる利点がある。

センサICの駆動周波数向上とビニング機能追加によって、解像度300dpiモード時の1ラインの読み出し期間は、従来比約4倍の10.4 μ s(96.2kHz)までを対応可能とした。媒体搬送方向に等倍な画像を得ることを考えると300dpi(=86.7 μ m)の距離を1ライン読み出し期間内に搬送されることとなり、その結果、86.7 μ m \times 96.2K \times 60s=488m/minの速度での読み出しが可能な構成となる。

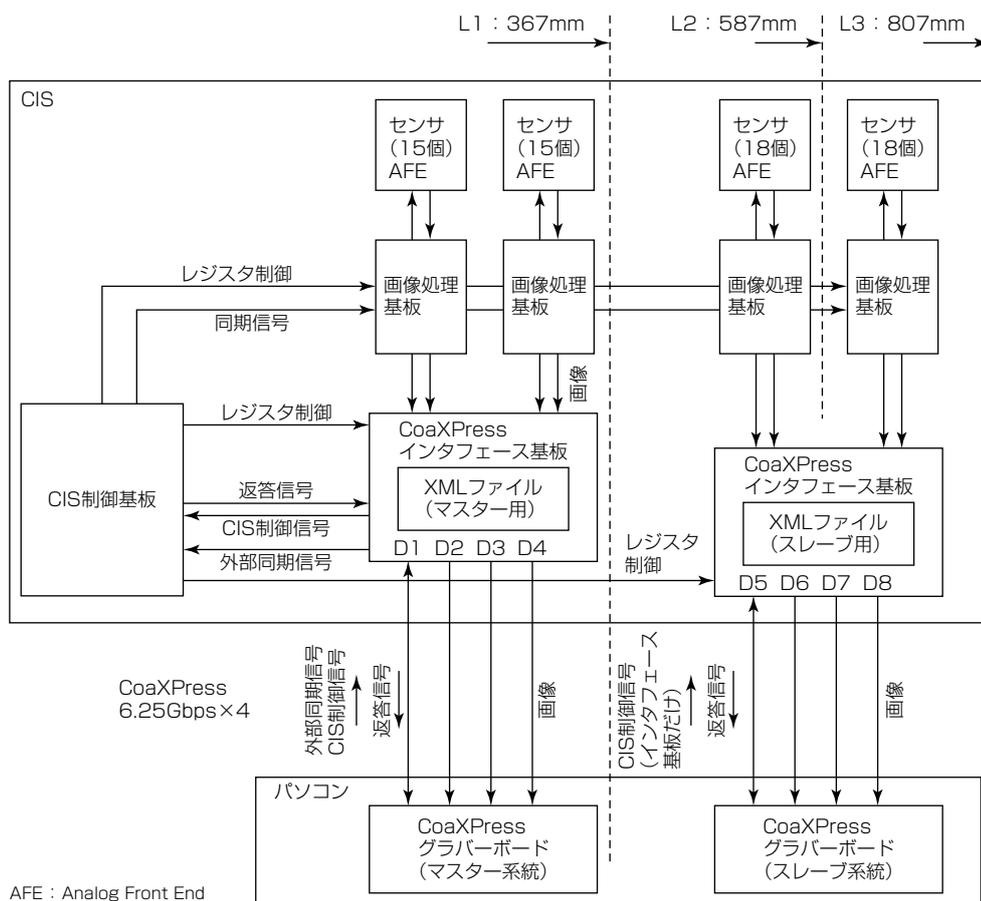


図2. KD-CXシリーズの内部回路ブロック図

また、画像のSNR(Signal to Noise Ratio)を確保しつつ約4倍の高速化を果すためには、約1/4の蓄積時間で画像情報を読み取ることになり、CIS自体の性能向上が必須となる。これについては、センサICの画素感度を高めることに成功し、これを適用することでKD-AXシリーズと同等レベルのSNRを実現している。

3.2 製品インタフェース

488m/分の速度で300dpiの画像を読み出す場合、今回ラインアップした製品長の1つである367mmサイズを考えると、画像データを10ビット長/色とした場合367mm×11.8画素×3(RGB)×10ビット×96.2K=12.5Gbpsの画像伝送が必要となる。

従来のKD-AXシリーズで採用したCameraLinkインタフェースの最大伝送速度は4.08Gbps/ch(Medium Configuration時)であり、規格の速度を達成するためには367mmサイズで4ch分のコネクタ8個が必要であった。今回はこれを打破するため、マシンビジョン業界で新たな規格として採用が見込まれるCoaXPRESSインタフェース(Ver.1.1)を採用した。この規格では、1本の同軸ケーブルで6.25Gbpsまでのデータ転送が可能で、4本使用して最大25Gbpsまでを1つのグラバボードで受け取ることができる。さらに、同軸ケーブルはCameraLinkケーブルよりも屈曲性が良く、最大伝送長も10m以上が期待で

き、更なる高速伝送対応を目指す当社CISの次世代インタフェース規格として最適と判断し、選定した。これによって、開発目標仕様を満たす画像伝送が可能なシステムを構築できた。

4. 利便性の向上

KD-AXシリーズでマシンビジョン向けのCISを提案してきたが、顧客から機能面で改善要望があった。KD-CXシリーズでは、これらの改善要望に応えることで製品の利便性を向上させている。

4.1 電子シャッター制御機能

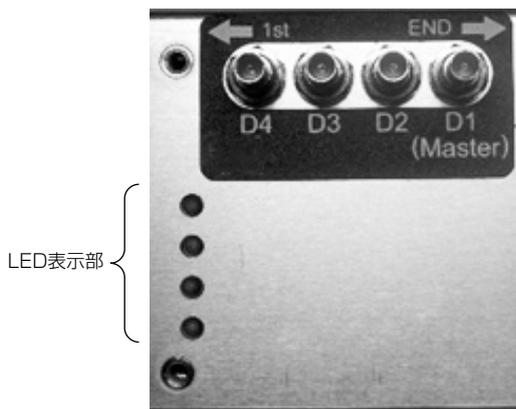
通常、センサIC上の画素はリセット動作期間以外は光の蓄積を常時行うため、センサの光蓄積期間は読み取り周期に依存している。このセンサを読み取り周期が変動するシステムで使用した場合、読

み取り周期変動に応じてセンサの出力が変動してしまう問題が生じる。この問題を回避するため、従来の当社CISでは内蔵した光源をCIS動作と同期してパルス点灯を行う制御方式を採用し、“光蓄積期間=光源点灯期間”とすることで、センサの出力を安定化させてきた。しかし、検査用途では、内蔵光源だけでなくユーザーが用意する外部光源を用いて照明し、検査する場合もある。この場合はCISと光源点灯の同期がとれず、読み取り周期変動の影響を受けてしまう。

そこで、センサICの光蓄積時間を読み取り周期とは独立に制御可能な機能を新たに搭載した。具体的には、設定情報に基づき、リセット動作状態を保持することができるようにして、光の蓄積動作を時間的に止められるような設計を盛り込んだ。これを電子シャッター機能と呼ぶ。これによって、外部光源がDC点灯だとしても、電子シャッター機能を使うことで光の照射量(光蓄積時間)を一定に保つことができる。

4.2 GenICamへの対応

CISで採用したCoaXPRESS規格では、そのインタフェースとしてGenICamと呼ばれる規格ののっとって通信制御が行われる。この規格では、CIS内部にカメラ定義ファイル(Camera Definition File)と呼ばれるカメラ(=CIS)の画素数・読み取り速度等の決められた仕様が一覧となったファイルに書き込まれており、動作開始時に所定操作でグラバボード側へ転送される仕組みになっている。この規



LED表示部の点灯状態		ステータス
	Ch1~4：赤点灯	インタフェース基板のFPGA温度異常
	Ch1~4：橙点灯	システムブート (インタフェース基板FPGAコンフィギュレーション中)
	Ch1~3：OFF Ch4：橙点灯	システムブート (インタフェース基板FPGAリセット状態)
	Ch1~2：OFF Ch3~4：橙点灯	システムブート (インタフェース基板CLK Gen設定中)
	Ch1：OFF Ch2~4：橙点灯	システムブート (CISブート中)

FPGA：Field Programmable Gate Array, CLK Gen：Clock Generator

図3. LED表示部と表示説明

格ではCIS内部にXML(eXtensible Markup Language)仕様に沿ったカメラ定義ファイルが書き込まれており、これによって、接続されるグラバボードがどのメーカーのものであっても、CISの制御情報を読み取ることができ、汎用のソフトウェア上から簡単に制御が可能となる。この規格に適合させることで、既に複数社のグラバボードとの接続が確認できており、ユーザーの立ち上げ時の開発工数の削減にもつながることを期待している。

4.3 LEDインジケータ

KDシリーズはB2Bで開発する複写機用途や金融端末用途のCISとは異なり、汎用製品として販売を進めていること、また、CISを触ることが初めてのユーザーも多いため、CISの動作状態を見ただ目で分かりやすく表示してほしいとの要望が多かった。

今回、CISの裏面にLED 4個を用いたインジケータ表示機能を設けた(図3)。CoaXPress規格として、立ち上げ時の動作状態のモニタ表示機能が義務付けられているが、これに更に機能を追加し、CISの立ち上げ手順のどの状態であるか、また、内部でエラーが発生した際にもLED点灯状態でアラームを上げることができる表示を専用に追加した。

これらの対応によって、特にCISを初めて使用するユーザーの製品立ち上げ時の開発の負荷低減に役立つものと考えられる。

5. むすび

今回製品化したKD-CXシリーズの主な仕様を表1に示す。300dpi読み取り時には、KD-AXシリーズの約4倍となる11μs/ライン(90.9kHz)、等倍読み取り時の媒体搬送速度488m/分を実現した。GenICam機能に対応することで、各社が独自に選択するグラバボードから専用ソフトウェア開発をすることなくレジスタ制御が可能となった。

表1. KD-CXシリーズの主な仕様

項目		KD6R367CX	KD6R587CX	KD6R807CX
読取幅	mm	367	587.2	807.4
有効画素数	pixel	8,640×3	13,824×3	19,008×3
画素密度	dpi	600		
データフォーマット	-	CoaXPress Rev.1.1		
読取速度(kHz/ライン)	10ビット	600dpi	50.6/55.0(外部/内部同期モード)	
		300dpi	80.9/96.2(外部/内部同期モード)	
		200dpi	100.9/130.6(外部/内部同期モード)	
	8ビット	150dpi	115.2/159.1(外部/内部同期モード)	
		600dpi	55.0/55.0(外部/内部同期モード)	
		300dpi	91.8/96.2(外部/内部同期モード)	
	200dpi	112.0/130.6(外部/内部同期モード)		
	150dpi	125.9/159.1(外部/内部同期モード)		
出力データレート	Gbps max	6.25×4×1系統		6.25×4×2系統
光源	-	白色LEDアレー		
露光制御	-	LEDパルス制御/電子シャッター機能		
焦点位置	mm	12(ガラス面からの距離)		
外形寸法(L×W×H)	mm	434×62×112	654×62×112	874×62×112
質量	kg	2.6	3.9	5.1

さらに、外部光源との組合せにも対応できる電子シャッター、動作状態のモニタが可能なLEDインジケータ機能等、利便性も向上を果たした。今後、更なる長尺タイプをラインアップに増やす予定である。

当社のCIS技術でマシンビジョン業界に貢献できるよう、各種分野の光学読み取り検査に適した製品を提供し、品質向上と世の中の安心に貢献する製品提供への一助になる製品展開を進めていく。また、CIS開発としては、弱点である焦点深度の大幅な向上、レンズレス構成⁽¹⁾などにもチャレンジして、更に使いやすいラインセンサを指向し、社会に広く貢献していく。

参考文献

- (1) Kawano, H.: Lensless image scanner using multilayered aperture array for noncontact imaging, SPIE. Optical Engineering, 55, No.10, 103106 (2016)