

4.7 μ mカラーCCDを用いた読み取りユニットの開発

Development of Scanner Unit with 4.7 μ m Cell Color CCD

神代 敏昭* 安田 尚弘* 小松 隆志* 平沼 雅裕* 養田 泰信**
Toshiaki KUMASHIRO Naohiro YASUDA Takashi KOMATSU Masahiro HIRANUMA Yasunobu YOUDA

藤岡 哲弥** 高橋 卓二**
Tetsuya FUJIOKA Takuji TAKAHASHI

要　　旨

カラーCCDの画素サイズを4.7 μ mに小画素化することで読み取りユニットの低コスト化と薄型化を両立した。同時に、レンズユニットを新構造とすることにより、小画素化の課題であったS/N, MTF, 位置精度, 基本画像特性等の低下を克服し、カラーMFPの新製品 imagio MP C1500, 2500, 3000シリーズへの搭載を実現した。

ABSTRACT

The super-thin and low-cost color scanner unit has been developed by miniaturizing a CCD cell size to 4.7 μ m. Miniaturizing a cell size cause decrease in S/N, MTF, position accuracy, basic image characteristics, and so on. However, we overcame such problems by developing a new structure design of the lens unit. Finally, we successfully applied this scanner unit to the imagio MP C1500, 2500, 3000 series.

* LP事業部 第二設計センター

2st Designing Center, LP Business Group

** LP事業部 第一設計センター

1st Designing Center, LP Business Group

1. 背景

デジタル化によって複写機はプリンタ、スキャナ、FAXという多機能を有するマルチファンクションマシン（MFP）として進化してきている。更に近年はオフィスでのカラーニーズの高まりにより、カラーMFPの普及が急速に進んでいる。このような状況の中、従来まで高機能機という位置づけで開発されていたカラーMFPにおいては、普及機への要件として小型化と低コスト化が同時に求められつつある。読み取りユニットにおいても例外ではなく、次世代のカラーMFPに求められる仕様とコストを達成すべく、開発者は新しい技術の導入に対して積極的に取り組んでいる。

今回、我々はモノクロMFPにおいて既に実用化されている4.7 μm という小画素CCDを20~30cpmの中速カラーMFPに適用することを試みた。従来このクラスのカラーMFPには約10 μm の画素間隔をもつCCDが用いられてきた。これに対して面積比で約1/4以下となるCCDの採用はCCD自体の小型化と低コスト化に留まらず、レンズの小径化によってユニット全体の小型（薄型）化と低コスト化を可能にするものである。しかしながら、受光部が小さくなることにより必然的に高い物理的位置精度とその維持が必要となる。殊にカラー読み取りにおいては広い光学波長領域に対してそれらを保証しなければならない。また、CCDの小型化と高速化はRGB各イメージセンサの相互干渉（クロストーク）を引き起こす懸念や、発熱による信頼性低下など電気的な課題も少なくない。

これら高速カラー対応に伴う課題を克服し、4.7 μm カラーCCDを用いた読み取りユニットを開発したので報告する。

2. 技術

2-1 構成

Fig.1に本読み取りユニットのブロック図を示す。光源（Xe LAMP）は高輝度かつ照度安定性のよい白色キセノンランプを採用している。原稿面で反射された光はレンズ（LENS）によりセンサー基板（Sensor Board Unit : SBU）に実装されたCCDイメージセンサ（以後CCD）に結像する。CCDは制御ASIC（ASIC）にて駆動され、受光部への入射光

量に応じて光電変換された電荷量がアナログビデオ信号として出力される。アナログビデオ信号はRGB各色に対して偶数（EVEN）と奇数（ODD）に分かれており、A/D変換器を内蔵するアナログ信号処理LSI（AFE）により各色10bitのデジタル信号に変換され制御ASICに入力する。制御ASICに入力されたデジタル画像データは、内蔵するLVDS（Low Voltage Differential Signaling）のドライバモジュールにより、本体制御ユニット（Engine Control Unit）に伝送され、画像処理後、コピー/スキャナ/FAXの読み取りデータとして利用される構成である。

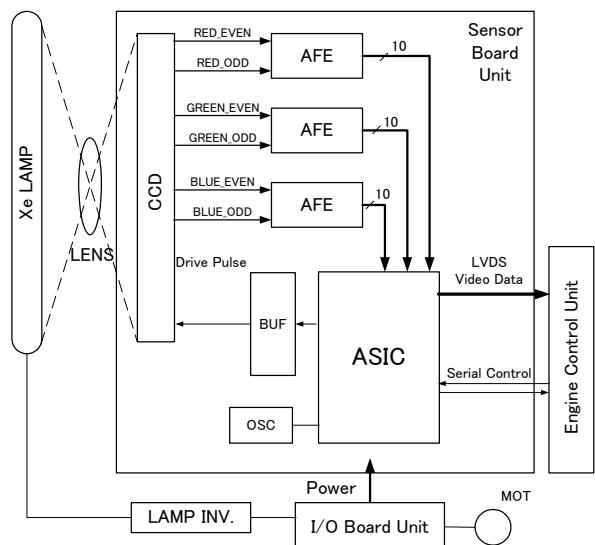


Fig.1 Control Block diagram of scanner unit.

本読み取りユニットにおいては、同クラスの従来カラーMFP機が採用するCCDと比較して、受光面積が約1/4以下となる画素配列間隔 4.7 μm のCCDを新規採用している。また、このCCDに適合した小径レンズも併せて新規採用している。レンズおよびCCDの動作仕様をTable 1に記載する。

Table 1 Specification of lens and CCD.

Unit	項目	単位	仕様	備考
レンズ	倍率		x 0.111	
	焦点距離	mm	45.73	
	外形	mm	φ 30	
CCD	有効画素数		7500 x 3	
	データレート	MHz	30.3875	
	受光面積	μm	4.7 x 2.5	縦 x 横
	ライン間隔	line	8	R-G, G-B

受光領域は、画素が配列する方向（主走査方向）においては画素分離領域として $2.2\mu\text{m}$ 占有されるため、各画素の中心間隔が $4.7\mu\text{m}$ であっても $2.5\mu\text{m}$ 幅となる。画素配列と直交する方向（副走査方向）においては画素間隔と同じ $4.7\mu\text{m}$ 幅であるため、結果として縦長の受光形状となっている。

CCDのRGB各色のイメージセンサは、物理的に各々8ライン分の間隔をもって配置されている。このライン間隔に起因する画像の位置ズレは、本体制御ユニットに実装されるフィールドメモリによって補正される。

以上のような構成のもと、*imago MP C1500*においては、蓄積時間設定をカラー $635\mu\text{sec}$ 、モノクロ $423.3\mu\text{sec}$ とすることにより、A3原稿をそれぞれ約6.3sec/約4.2sec（解像度600dpi）にて読み取るものである。また、*imago MP C2500/3000*においては、蓄積時間設定をカラー/モノクロとも $271.2\mu\text{sec}$ とすることにより、A3原稿を約2.7sec（解像度600dpi）で読み取る仕様である。

2-2 レンズブロック構造と調整

Fig.2に本読み取りユニットのレンズ周り構成図を示す。ステーとSBUおよび4つのブラケットから構成され、それぞれがTable.2のように接触面を持ち、調整後にネジ固定される。レンズは第1ブラケットに固定されている。

小型化のために各ブラケットはほぼ同じ高さに成形され、レンズ高より上側に突出しない範囲に収まっている。調整方法は、仮組み固定した後、各接触面の固定ネジをその都度緩め、Table 2に示した調整方向に動かしながら調整しネジを締めて固定する作業を繰り返すものである。これにより6軸（XYZ方向・ α β γ 回転）の調整を可能にしている。

このようにして調整固定された部品群はレンズブロックモジュールとして特性値が保証され、ユニット組立工程に導入される。

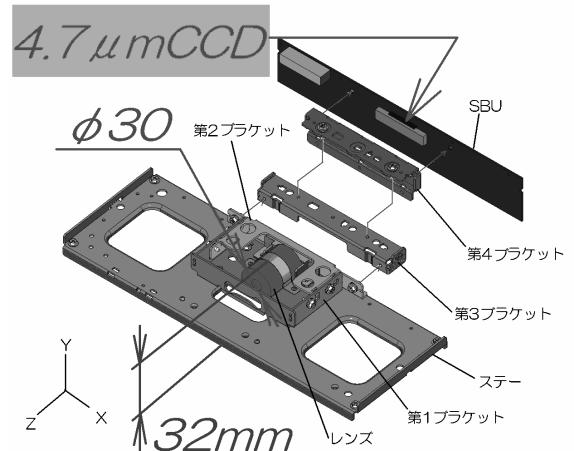


Fig.2 Schematic of lens unit with CCD.

Table 2 Adjustment system of lens unit with CCD.

構成要素	接触面	調整方向	備考
ステー	X-Z	Z方向	倍率調整
第1ブラケット	Y-Z	α 回転（X軸回転）	色間誤差
第2ブラケット	X-Y	Y方向	副走査レジストスキュー
第3ブラケット		γ 回転（Z軸回転）	
第4ブラケット	X-Z	X方向 Z方向 β 回転（Y軸回転）	主走査レジスト MTF 倍率誤差偏差
SBU	X-Y	無調整	治具位置決め

調整には独自の治具と調整工程を用いることで、調整組立時間を当社従来機種よりも短縮させることに成功した。

また、第4ブラケットをSBUに接触させることで、CCDの熱伝導を促し、各ブラケットに熱分散させて放熱効果を高めている。これにより使用環境下においてCCD周りの空間温度を規格内に保つことができた。

2-3 色間クロストークの改善

開発過程において確認された色間クロストーク現象とその対策に関して記載する。

色間クロストーク現象は、カラー原稿読み取り時に1画素おきの縦スジ状の画像が発生し、尚且つ原稿色（RGB出力のバランス）に依存してその発生具合が異なるという現象である。RGB出力が比較的均一な白色及び無彩色の原稿読み取り時には顕在化しないことが本現象の特徴である。

現象の一例として、イエロー原稿読み取り時の挙動を示す。

Fig.3は、イエロー原稿読取時のRGB各出力レベルを示したものである。

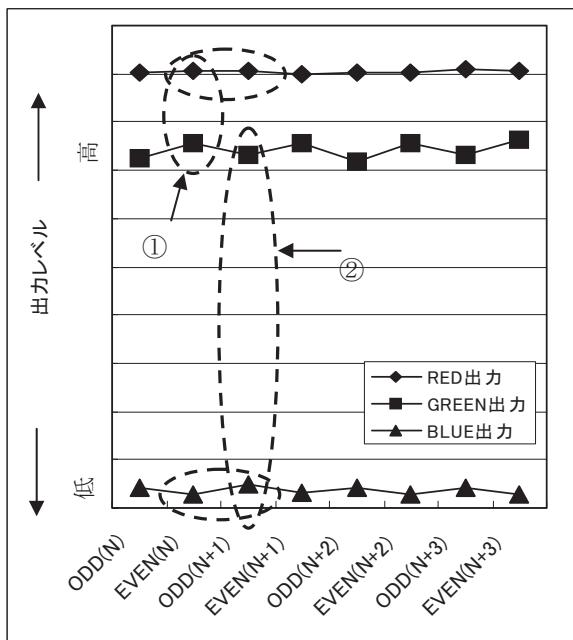


Fig.3 Before measures. RGB output at the time of yellow manuscript reading.

Fig.3に示す様に各出力の関係は $R > G \gg B$ となっている。またCCD端子配列は○破線に示す信号同士が隣接するレイアウトとなっている。

この場合、G-EVEN出力は出力の高いR端子と隣接している影響により本来の値以上の出力となってしまう。(Fig.3の①参照)

一方、G-ODD出力は出力の低いB端子と隣接している為、本来の出力のままである。(同②参照)

その結果GのEVEN/ODD出力間にはレベル差が生じる事となり、これが最終的に1画素おきの縦スジ状の画像となる。

この例の場合、縦スジが顕著に確認できるのはG出力であるが、B出力にも同様の現象が発生している。(B-ODD出力がG-ODD出力の影響により本来の値以上の出力となる)

解析の結果、本現象は出力端子間の容量成分と因果関係がある事が判明した。CCDの小画素化によりパッケージサイズが小さくなった事で、出力端子間のわずかな静電容量が信号成分に対して影響を与える為に起った現象である。

対策として、静電容量を減少させる様にCCD内部構造を改良し改善を図った。

対策後のRGB出力データ及び対策前後の画像サンプルをFig.4~5に示す。

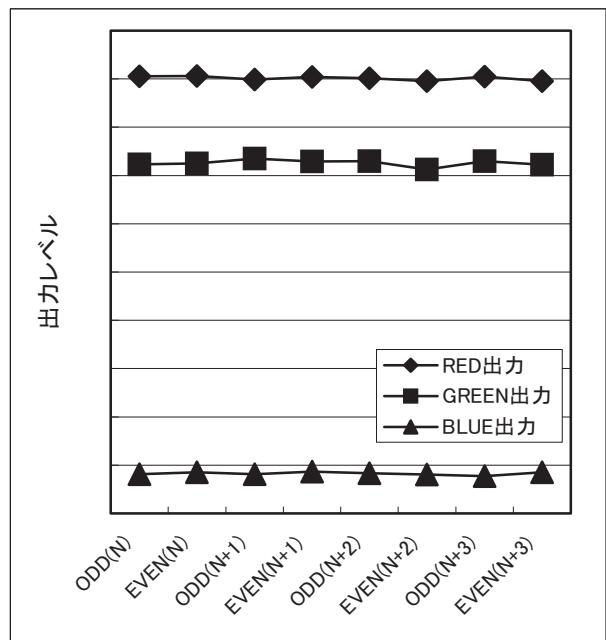
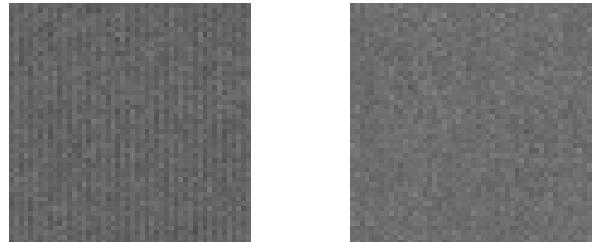


Fig.4 After measures. RGB output at the time of yellow manuscript reading.



(a) Before measures.

(b) After measures.

Fig.5 Green output at the time of yellow manuscript reading.

2-4 MTF温度変動抑制

開発過程において直面した課題の1つであるMTF温度変動に関して記載する。

MTFは読み取り画像の解像力を表す特性項目であるが、主にレンズ及びCCD性能と、相互の位置関係を最適設定する光学調整によって決定される。レンズブロック周辺の温度は、マシン使用環境やマシン自体の発熱の影響を受け、60°C以上の高温になる可能性がある。この温度上昇により、レン

ズブロック関連部材が熱膨張することで光学調整位置（レンズとCCD距離）が変動し、MTFが大きく低下するという問題が生じた。従来機においても、温度上昇による光学調整位置変動は同等レベル生じているが、MTFの低下として問題にはならなかった。

小画素化によってMTFの変動が大きくなった理由は、レンズのデフォーカス特性の違いによるものである。デフォーカス特性とは像面の焦点深度特性のことであり、CCDが小画素サイズになると像面空間周波数が高くなり、必然的に焦点深度幅が小さくなるのである。

理想レンズ（無収差）の深度幅： D は、下記の式(1)で求められる。

$$D = F \times 2 \times (1 + m) / u \quad (1)$$

D ：深度幅

F ：Fナンバ

m ：縮率

u ：空間周波数

この式(1)より、同じFナンバの条件でCCD画素サイズが $10 \mu\text{m} \rightarrow 4.7 \mu\text{m}$ になると、焦点深度幅 D は $1/2$ 以下になることがわかる。

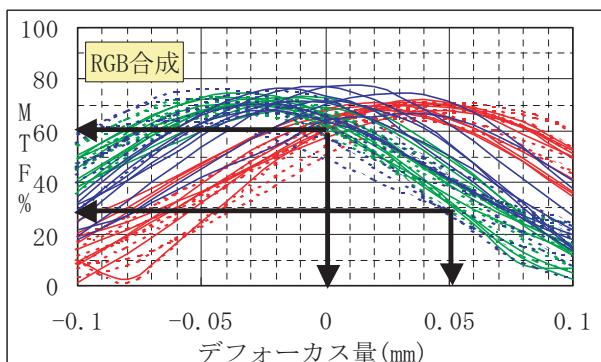


Fig.6 Example characteristics of MTF vs focus depth with lens for $4.7 \mu\text{m}$ cell CCD.

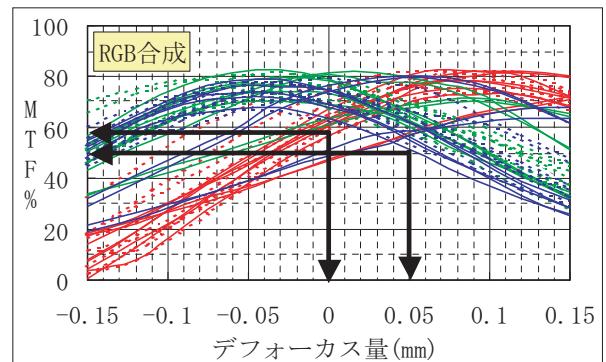


Fig.7 Example characteristics of MTF vs focus depth with lens for $10 \mu\text{m}$ cell CCD.

Fig.6は、CCD画素サイズ $4.7 \mu\text{m}$ 用レンズ（像面周波数 106.4L/mm ）のある解像度でのデフォーカス特性を測定した結果例であるが、 $50 \mu\text{m}$ 変動することによりMTFは約30%程度低下することを示している。一方、同じ条件において、CCD画素サイズ $10 \mu\text{m}$ 用レンズ（像面周波数 50L/mm ）のMTF低下は10%程度に収まる(Fig.7参照)。

従って、小画素CCDの採用にあたってMTF低下を改善するには、レンズとCCD間の距離変動を抑制することが最も重要な対策となる。距離変動の原因是、レンズブロック関連部材の熱膨張であるため、線膨張係数の小さい部材に変更することで対策を実施した。

従来の部材はプラスチック（ガラス入り）材料であったが、金属部材に変更することにより、距離変動を $1/5 \sim 1/6$ に抑えることができる。

Fig.8~9は温度上昇におけるMTF変動量をレンズブロック材質の変更前後で比較したグラフである。縦軸にMTF変動量、横軸にRGB各色と画像上の測定箇所（9箇所）を表している。Fig.8は主走査方向、Fig.9は副走査方向のMTF特性を示す。

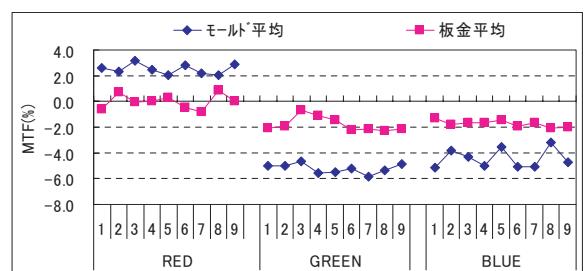


Fig.8 Comparison of MTF variation in main scanning direction. (within 5 minutes vs after 20minutes)

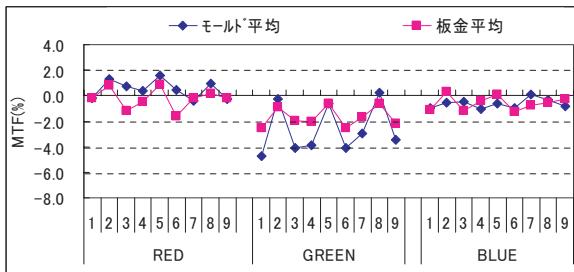


Fig.9 Comparison of MTF variation in sub scanning direction. (within 5 minutes vs after 20minutes)

Fig.6～7のグラフが示すようにデフォーカス量が膨張する側（プラス側）に動いた場合、REDのMTFは向上するが、GREEN, BLUEは低下してしまう。しかし、材質変更によりGREEN, BLUEのMTF特性変動を約1/3に抑えることができた。

3. 成果

3-1 薄型化

今回開発した読み取りユニットは、CCDの小画素化に伴うレンズの小径化により、従来ユニットの約30%減にあたるユニット高70mmを実現した。これにより、MFP本体のレイアウト自由度が高まるだけでなく、原稿セット面を低くすることにより従来よりも操作性のよいMFPを実現することができる（Fig.10およびFig.11参照）。

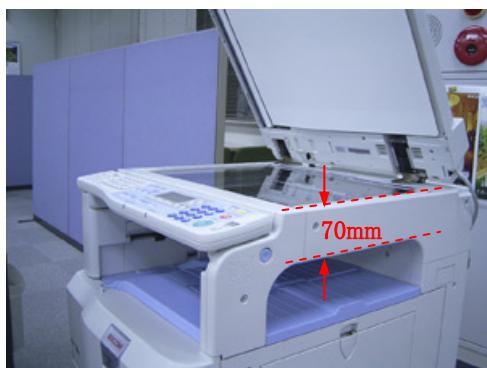


Fig.10 Scanner unit with 4.7 μm cell CCD.



Fig.11 Conventional scanner unit with 10 μm cell CCD.

3-2 高速化

4.7 μm という小画素カラーCCDの高速動作に対して、CCDの発熱対策と画質特性の改善により、30cpmクラスの中速MFPに適用可能な読み取りユニットとして世界で初めて量産化した。

3-3 低コスト化

読み取りユニットにおいて、レンズとCCDは大きなコストウェートを占めている。今回の読み取りユニットにおいてはその両方のコストを大幅に低下させることができ、カラーMFPの低価格化に貢献できた。

4. 今後の展開

今後の開発ポイントとしては以下が挙げられる。

- ①高速化
- ②高画質化
- ③低コスト化

高速化はCCDの駆動性能向上と発熱対策が主な課題となる。CCD駆動性能は画質特性との両立が絶対条件となる。

高画質化の主な課題はS/N向上とMTF安定化およびRGB位置ズレ低減となる。S/N向上については光源の高輝度化も重要な技術課題となる。RGB位置ズレ低減については、各イメージセンサの間隔を更に狭めたCCDを採用することの他、駆動特性改善、振動対策も重要となってくる。

低コスト化については構成部品の削減と部品材質の見直しが基本となる。

これらを一層向上させ、多様な製品に適用できる読み取りユニットとして完成度を上げていく。