

KOOLS CCDカメラシステムのリニアリティー調査と改善策

尾崎忍夫^a、岩田生^a、服部堯^b

^a 国立天文台岡山天体物理観測所、^b 国立天文台ハワイ観測所

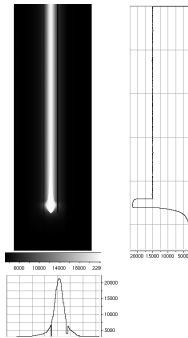
KOOLS CCDカメラシステムのリニアリティーは1x1ピニングにおいて10,000カウント程度で悪くなるという報告がなされていた。リニアリティーが悪い原因調査を行い、MFront SIGADCボード上に原因があることを突き止めた。さらに、SIGADCボード上の可変抵抗を調整することでリニアリティーの状況が改善し、1x1ピニングにおいてフルウェル(27,000カウント=61,560e-)まで $\pm 0.7\%$ 、2x2ピニングにおいて約27,000カウントまで $\pm 0.5\%$ のリニアリティーがあることを確認した。また数10秒程度の短時間露出の場合はシャッターの開閉時間の影響が無視できないことも確認された。

1、二つのリニアリティー測定手法

手法1 LEDと定電圧電源を用いたフラット光源に対して露出時間を変化させたときのカウント値の変化を測定する方法。定期的に30秒露出のデータを取得し、それらのデータをもとに光源の変動を補正した。

手法2 フォトンノイズの2乗(分散)がカウント値をゲインで割った値となることを利用した方法(Shutterless Photon Transfer法)。LEDと定電圧電源を用いた光源をつけておいて、シャッターを開放したまま読み出す。すると図1のような画像が取得できる。カウント値が一定レベルに落ち着いた領域で各コラムについて平均カウント値と分散を求めた。

図1 Shutterless photon transfer法によって得られたデータ。



2、以前の状況

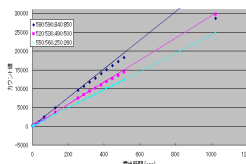


図2 露出時間と平均カウント値の関係(手法1)。1x1ピニング。フレーム内のいくつかの領域に対してプロットした。

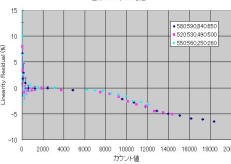


図3 図2を見やすくするために2000カウント付近のデータを用いて決めたリニアリティーからのずれの相対値を縦軸にした。横軸を平均カウント値にしている。

図3を見ると8,000カウント付近でリニアリティーからずれ始めることが分かる。マイナス方向へのずれは、測定値がリニアリティーから予想されるよりも小さいことを意味する。

1000カウント以下でのずれはシャッター開閉時間の影響である(6章参照)。

図4においてデータ点が一直線上にならなければ、リニアリティーがあることを示している。傾きの逆数がゲイン(e-/ADU)である。1x1ピニングでも2x2ピニングでも10,000カウント程度でリニアリティーからずれて、ゲインの異なる別の直線上に乗ることが分かる。

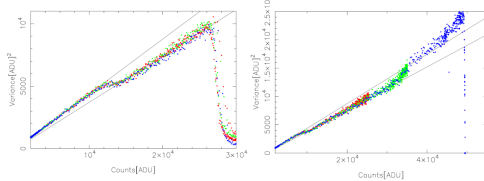


図4 平均カウント値と分散の関係(手法2)。左は1x1ピニング、右は2x2ピニング。

3、原因調査

原因と思われる箇所に関して対処してみたが状況が改善されなかったため、系統的に原因を切り分けていくことにした。

まずMfrontのSIGADCボード上に原因があるかどうかを切り分ける実験を行った。CCDからの信号を模したダミー信号をSIGADCボードへ入力し、ADコンバーター直前(図5のF点)の信号をオシロスコープで測定し、入力振幅に対してリニアリティーがあるかどうかを調査した。なお、実験には岡山観測所にあった予備のMfrontボードを利用して、3章と4章で示したデータは全て予備のボードで得られたデータである。事前の調査で、このボードでもKOOLS CCDカメラシステムと同様のリニアリティーの不具合があることを確認している。

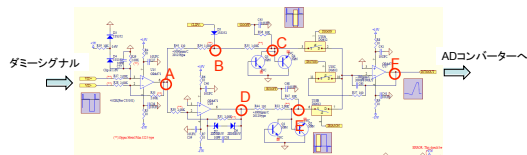


図5 Mfront SIGADCボードの回路図より抜粋。赤丸で示したところの信号をオシロスコープで測定した。

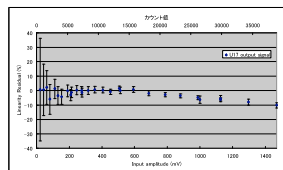


図6 入力振幅に対するF点での電圧値のリニアリティーからのずれ。上側に示しているカウント値はF点での電圧値をバイパスを引いた後のカウント値に変換した値。

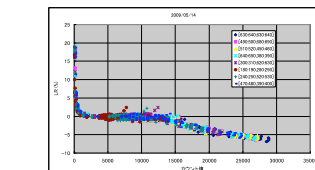


図7 図6と同一のボードを用いて手法1で測定したリニアリティーのずれの状況。図2とはボードが異なるのでリニアリティーからずれるカウント値が異なる。

図6と図7を比較すると同じカウント値(15,000カウント)においてリニアリティーからずれ始めて、両者とも25,000カウント程度で5%に達しているのがわかる。この実験によりリニアリティー不具合がSIGADC上にあることが判明した。

次にSIGADC上のどの部分で不具合が生じているかを特定するために、ダミー信号を入力させて図5のA~F点における信号を測定した。その結果、A,B,C点において図6に対応するような不具合は見られなかった。CとE点の電圧は原理的にはGNDレベルで一定のはずである。測定の結果、若干の入力値依存性を持っていたが、これは図6にみられたずれ量を説明できるほどのものではなかった。

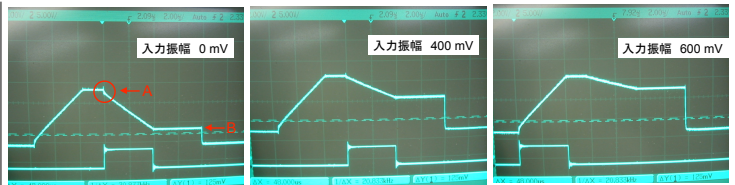


図8 入力振幅が0、400、600mVのときのF点での信号(上側の信号)。水平のグリッド線は2V刻み。

図8はF点における波形である。入力振幅が0mVのときに赤丸で囲った部分にギャップが見られる。入力振幅が400mVのときにも少し見られるが、600mVになるとほとんど見られない。図6をみるとちょうど600mVのところからリニアリティーからずれ始めていて、このギャップがリニアリティー不具合を引き起こしていると考えられる。これらのことを総合すると、ギャップが存在する入力振幅0mVから600mVの間ではリニアリティーが存在し、ギャップがなくなる600mV以上ではそれまでとは異なる比例係数のリニアリティーを示すようになると解釈できる。

4、改善策

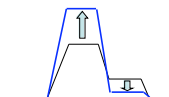


図9 SIGADC上の可変抵抗を調整してF点における波形を青線のように変える。

ギャップ量は図8のAとBの電圧差に依存しているようなので、SIGADC上の可変抵抗を調整して、F点での波形を図9のように変えてやれば、ギャップの存在する範囲を広げられて、結果としてリニアリティーのある範囲が広がるはずである。この調整によってバイアスレベルは変わるが、ゲインに変化はないはずである。

図10は調整後のF点での波形である。期待通りギャップのある範囲が1V程度まで広がった。

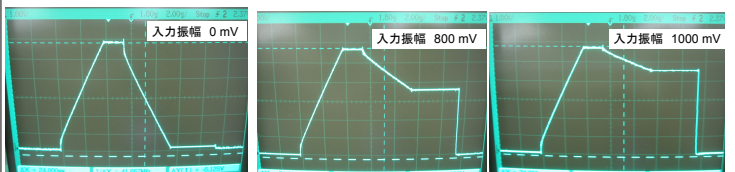


図10 入力振幅が0、400、600mVのときのF点での信号。水平のグリッド線は1V刻み。図8とは縦軸のスケールが異なる。

5、結果

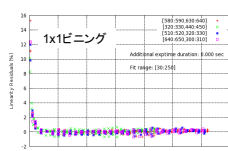


図11 図3と同様のプロット(手法1)。左は1x1ピニング、右は2x2ピニング。

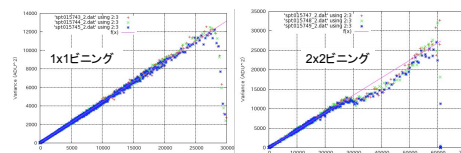
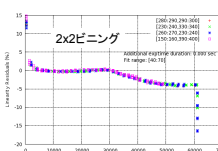


図12 図4と同様のプロット(手法2)。左は1x1ピニング、右は2x2ピニング。

図11と図12は手法1と手法2で測定したリニアリティーの状況である。データはKOOLSで使用中のボードに上の改善策を施して得られたものである。予備のボードでも同様の結果が得られている。

低カウントでのずれを除くと、1x1ピニングではフルウェルまで $\pm 0.7\%$ 、2x2ピニングでは27,000カウントまで $\pm 0.5\%$ のリニアリティーがあることが確認された。

対策前の状況(図3、4)と比較するとリニアリティーのある範囲が3倍程度になっているのがわかる。

6、低カウントでのずれ

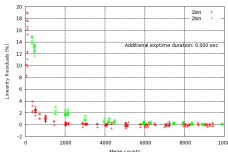


図13 平均カウント値に対するリニアリティーからのずれ。

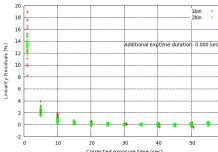


図14 露出時間に対するリニアリティーからのずれ。

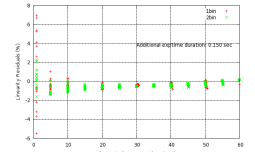


図15 図14と同様のプロット。ただし、露出時間に0.15秒加算している。

1x1ピニングと2x2ピニングでカウント値に対するリニアリティーからのずれの依存性が異なる(図13)。一方で露出時間に対するリニアリティーからのずれの依存性は1x1ピニングと2x2ピニングで同様の傾向を示す(図14)。このことから低カウントでのずれは露出時間と関連のある問題であることが推察できる。

低カウントでのリニアリティーのずれは露出時間に0.15秒加算すれば、ほとんど見られなくなることが分かった(図15)。この原因として考えられるのは、シャッター開閉時間の影響である。KOOLSでは市販のアイリス式のシャッターを用いており、カタログによると開閉時間は0.1秒である。開くときと閉じるときの方で影響するので、最大で0.2秒となる。この時間は図15で加算した時間(0.15秒)と同程度であるので、低カウントでのずれはシャッター開閉時間の影響と考えるのが妥当である。