

序 文

筆者がイメージセンサ技術の世界に身を置いて三十余年になる。その間、イメージセンサというデバイスをどう理解するかということは課題であり続けたが、数年前にようやく自分なりに理解ができるようになった。本書は、その意味で筆者にとって課題の整理ノートでもある。そのため筆者特有の理解の仕方や説明、論理構成も少なくないし、偏りもあることをお断りしておかなければならない。

筆者は大学で物理学を学び、理解するという事は「自分の頭の中で現象をイメージできる」と考えてきた。その想いを形にするために、本書ではできるだけ筆者なりの図面でビジュアル化することによって、読者の直感的理解の手助けになるように努めたつもりである。

1章で画像情報の構造とセンサが果たしている役割、2章でセンサに必要な半導体部品と回路部品、3章でセンサの雑音、4章で走査モードを述べて準備段階とする。

5章で CCD, MOS, CMOS の各方式のセンサの原理、画素技術、デバイスの進展を詳述し、最後に各方式を振り返って比較する。6章で光強度以外の情報がどのように得られるか、7章で画像を構成する要素のそれぞれの情報品質を向上してきた技術、8章でセンサ単体でなく、イメージングシステム全体として画像情報品質に関わる要素を述べる。

本書をこのような形で世に出すことができるのも、すでに鬼籍に入られた先人諸兄を初めとするこの分野の多くの関係各位のおかげである。また、職場においては尊敬する上司、反面教師も含めた先輩、同僚、後輩に恵まれた。なかでも特に会社での最初の直属上司としてゼロから指導して下さった堀居賢樹氏との出会いがなければ今日まで続けられなかった。筆者が天職と巡り会うこ

とができた，まさに天佑であった。そして，勤務時代の最後の数年間に，隣に机を並べていつでも議論ができ，イメージセンサ技術者として，また人として言葉と行動によって多くのご教示をいただいた松長誠之氏には感謝に堪えない。また，自宅で本書を執筆するにあたり，家族が与え続けてくれた支援も有り難かった。妻と娘たちはもちろん，本書にしばしば撮像例として登場する愛犬“しんば”は，本書執筆末期に超高齢犬として残念ながら旅立ったが，つねに優しく寛容な心とお利口さで筆者に前を向く力を与えてくれた。

本書の発刊にあたって，ご尽力くださった東京理科大学の浜本隆之先生とコロナ社の関係各位に心より御礼を申し上げる。

また，論文やウェブサイトから図面などを引用させていただいた関係各位に感謝するしだいである。なお，基本技術的な参考文献は，できるだけオリジナルもしくは，発表の早い文献の引用に努めた。

本書が，かつての筆者と同様にイメージセンサを志しながら戸惑っておられる方々にとって，この道を楽しまれるように少しでも道案内のお役に立つことができるならばこれに優る喜びはない。

2012年10月

黒田 隆男

目 次

1. イメージングの目的とイメージセンサの役割

1.1 画像情報を構成する要素	2
1.2 イメージセンサ出力と画像情報の構造	4
1.2.1 モノクロ静止画	4
1.2.2 カラー静止画	6
1.2.3 カラー動画	7
1.3 イメージセンサの機能要素	10

2. イメージセンサのためのデバイス要素と回路

2.1 デバイス要素部品	12
2.1.1 シリコンデバイス物理の基礎	12
2.1.2 pn 接 合	17
2.1.3 MOS 構 造	20
2.1.4 埋込み MOS 構造	22
2.1.5 フォトゲートセンサ	25
2.1.6 フォトダイオード	26
2.1.7 埋込みフォトダイオード	26
2.2 感光材料としてのシリコン	27
2.2.1 p 基板上のフォトダイオード	28
2.2.2 npn フォトダイオード	30
2.3 回 路 部 品	30
2.3.1 浮遊拡散層アンプ	30
2.3.2 ソースフォロワアンプ	32
2.3.3 相関二重サンプリング	34

3. イメージセンサのおもな雑音

3.1 雑音の大きさ	38
3.2 回路雑音 (kTC 雑音)	40
3.3 トランジスタ雑音	42
3.3.1 $1/f$ 雑音	42
3.3.2 熱雑音	43
3.3.3 RTS 雑音	43
3.4 ショット雑音	44
3.5 CDS による FDA 雑音の低減	46

4. 集積期間と走査モード

4.1 プログレッシブモード	49
4.2 インタレースモード	50
4.3 電子シャッタモード	52

5. センサの方式

5.1 CCD センサ	54
5.1.1 CCD の原理	54
5.1.2 インタライン転送方式 CCD の画素技術	66
5.1.3 CCD の素子展開	80
5.2 MOS センサ	85
5.2.1 MOS センサの原理	85
5.2.2 MOS センサの画素技術	92
5.2.3 MOS センサの素子展開	94
5.3 CMOS センサ	96
5.3.1 CMOS センサの原理	97
5.3.2 CMOS センサの画素技術	98
5.3.3 CMOS センサの素子展開	113

5.4 電子シャッタ	136
5.4.1 CCDの電子シャッタ	136
5.4.2 MOSセンサとCMOSセンサの電子シャッタ	137
5.5 雑音と方式比較	141

6. センサの座標点デジタル化の情報品質への影響

6.1 サンプリングとサンプリング定理	143
6.2 空間サンプリング	146
6.3 時間サンプリング	152
6.4 波長サンプリングと色情報	152

7. センサの画像情報品質向上技術

7.1 光強度情報	157
7.1.1 感 度	157
7.1.2 ダイナミックレンジ	160
7.2 空間情報	163
7.3 時間情報	166
7.3.1 同期蓄積型センサ	166
7.3.2 イベントドリブン型センサ	170
7.4 色情報と波長情報	172
7.4.1 単板カラーカメラ	172
7.4.2 マルチバンドカメラ	172
7.4.3 ハイパースペクトルイメージング	173

8. イメージングシステム

8.1 画像情報品質を下げる要因	175
8.2 信号処理	179
8.2.1 欠陥補正・感度補正	180
8.2.2 ホワイトバランス	181

8.2.3	デモザイキング	181
8.2.4	色変換処理	183
8.2.5	色・階調変換	184
8.2.6	雑音低減	184
8.2.7	輪郭強調	184
8.2.8	画像フォーマット	185
8.2.9	DSP補正の課題	186
8.3	3板カラーカメラ	186
 引用・参考文献		188
索 引	196

イメージングの目的と イメージセンサの役割

はじめに 私たちの周囲にはデジタルカメラ (digital still camera : DSC), カメラ付き携帯電話, ビデオカメラなど, 簡単にパーソナル画像を楽しめる機器があふれている。さらに, テレビ放送局では高画質映像を撮影する放送用カメラが必須である。これらの人間が画像を楽しむ用途のほか, 内視鏡などの医療用カメラ, 多種の車載カメラ, 防犯カメラもある。また, 可視光ばかりでなく赤外光の分布によって温度分布を可視化するサーモグラフィ, 紫外カメラや歯科でおなじみの X 線カメラもある。ほかにも高速に発生する現象を捉えるカメラや正確な色情報を把握するカメラもある。また, 人間の眼ではなく, 自動車のオートクルージングのための白線検知カメラや, 機械が画像情報から判断するマシンビジョンなどもあり, じつに幅広い範囲で活用されている。

このようにカメラに代表されるイメージングシステムに多くの種類があるのはなぜであろうか。それはおのおののイメージングシステムの目的を果たすために必要な品質の画像情報を得るためである。その中でイメージセンサの役割は, システムの目的を満たす品質の画像情報を光学像から得ることである。

本章では, 画像情報を構成する要素を確認した上で, イメージセンサ出力と画像情報の構造について明らかにしたのち, センサの構成要素を述べる。なお, 特に断らない限り, 説明は現在のほとんどすべてのイメージセンサ[†]に共通する素子構成および方式を前提にしている。なお, 本書で用いる用語として, より広義の意味での画像の情報を画像情報, 光学像が有する情報を光学像情報, イメージセンサが光学像から得て出力する画像の信号を画像信号と呼ぶこととする。

† 「ほとんどすべてのイメージセンサ」の意味はのちほど述べる。

1.1 画像情報を構成する要素

画像情報は、何によって構成されているのであろうか。簡単のために、まず一枚の白黒写真を思い浮かべていただきたい。そこにあるのは、写真という二次元空間に広がる白黒の濃度の分布である。その濃度は光強度であって、より白い部分は明るく、より黒い（＝白さが低い）部分は暗いことを示している。すなわち、二次元空間の各位置における光強度の分布であり、どの位置にどのような強度の光がきたかという位置情報と光強度情報から成っている。

つぎに、対象をカラー写真に拡張してみよう。白黒写真が可視光波長領域全体の光強度の分布であるのに対して、カラー画像ではそれぞれの位置の光の波長分布の情報が含まれている。さらに動画の場合は、どの位置に、どんな波長の光がどんな強度で、それに加えて、いつきたか、という時間情報が含まれなければならない。このように、画像情報は「光強度、位置、波長、時間」の四要素^{1), 2) †}から成っている。このうちの「位置」は二次元情報である。単一の「波長」は本来一次元の物理量であるが、一般的には単一波長が重畳した分布である。あとで見るように人間の眼が「波長」情報を「色」として捉える知覚機能を利用して、「色」として三原色で近似されることが多い。この場合は三次元と考えられる。したがって、**図 1.1** に示すように、各光強度、各位置、各波長、各時間による四要素・七次元空間における分布、すなわち座標点のセットが画像情報であるといえる。イメージセンサは、光学像からシステムの目的に必要な品質を有する四要素七次元の情報を取得しなければならない。

そして、取得されたこれらの四要素の数値情報の品質を表す指標が、**図 1.2** に示すように精度（分解能）と扱える範囲（レンジ）である。精度が高くてレンジが広いことが、画像情報品質が高いということであり、画像として高画質であるということである。光強度情報を例にとると、**図 1.3** に示すように、ど

† 肩付き数字は、巻末の引用・参考文献の番号を表す。

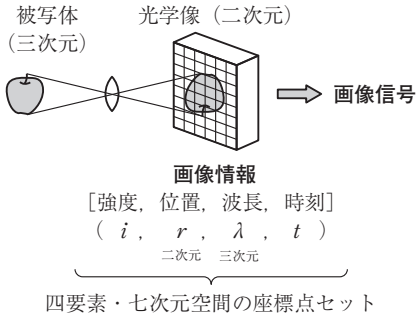


図 1.1 画像情報を構成する要素

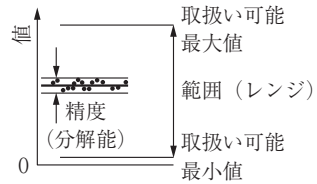


図 1.2 情報の品質 (値の精度と範囲)

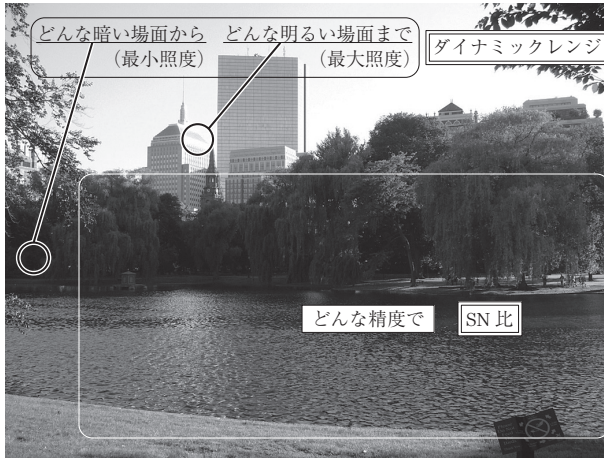


図 1.3 強度情報の品質の例

んな精度 (SN 比) で, どんな暗い被写体からどれだけ明るい領域まで (ダイナミックレンジ) が撮像できるかということである。

他の要素の精度と範囲も示したものが表 1.1 である。位置の精度が空間解像度であり, 波長の精度が色再現性, 時間の精度が時間解像度である。位置, 波長, 時間の範囲は, それぞれ撮像空間範囲^{†1}, 色域・波長領域, 記録時間^{†2}で

†1 端的にはセンササイズであるが, 例えば魚眼レンズを使えば大きく広げることが可能である。

†2 記録するストレージの規模など。

4 1. イメージングの目的とイメージセンサの役割

表 1.1 四要素の精度と範囲

要素	精度（分解能）	範囲（レンジ）
強度	SN比（感度）	ダイナミックレンジ
位置	空間解像度	撮像空間範囲
波長	色再現性	色域・波長領域
時間	時間解像度	記録時間

あり、特定用途を除けば、強度の範囲であるダイナミックレンジ以外は精度ほどには問題にされない場合が多い。

光の状態には、強度と波長のほかに偏光と位相がある。本書では扱わないが、こうした情報を扱うセンサとしては、物質の表面状態や質感に関わる光の偏光の分布情報を得るセンサの例³⁾がある。また、位相差を利用して3D画像/距離情報⁴⁾を得るセンサ⁵⁾やカメラ⁶⁾の開発も盛んに行われている。位相差ではなく、光の入射角度から距離情報を得るセンサ⁷⁾もある。特に、3D/距離情報取得技術は市場のニーズからも今後進展すると思われる。

1.2 イメージセンサ出力と画像情報の構造

ここでは、イメージセンサから得られる画像情報の構造について述べる。

1.2.1 モノクロ静止画

まず、簡単のためにモノクロ静止画の場合を考えると、含まれる画像情報は[強度, 位置]だけである。イメージセンサの基本的な素子構成を図 1.4 に示す。イメージセンサには撮像部（image area）と呼ばれる領域があり、その領域に結ばれた光学像の情報が画像信号に変換されて出力される。撮像部には画素（pixel）と呼ばれる単位セルが二次元状に配置されている。各画素には入射光を吸収して光量に応じた信号電荷を発生するセンサ部が通常1個含まれる。こうして各センサ部で各画素領域に入射した光量情報が取得される。

図 1.5 (a) の光学像を拡大したのが図 (b) であるが、センサから得られる

のは図(c)のような情報である。方形の各ブロックの濃度が各画素の出力であり、各画素の座標点 (x_i, y_j) における光量情報 $S(x_i, y_j)$ である。 (x_i, y_j) の二次元座標を r_k で表すと、 $S(r_k)$ と表される。撮像領域内のすべての r における $S(r_k)$ の1組のセットが1枚のモノクロ静止画像を構成する。

このように撮像部を有限の大きさの

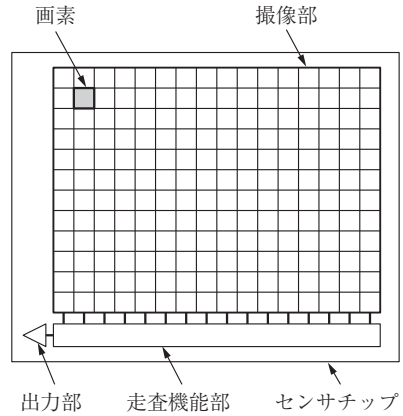


図1.4 イメージセンサの基本構成

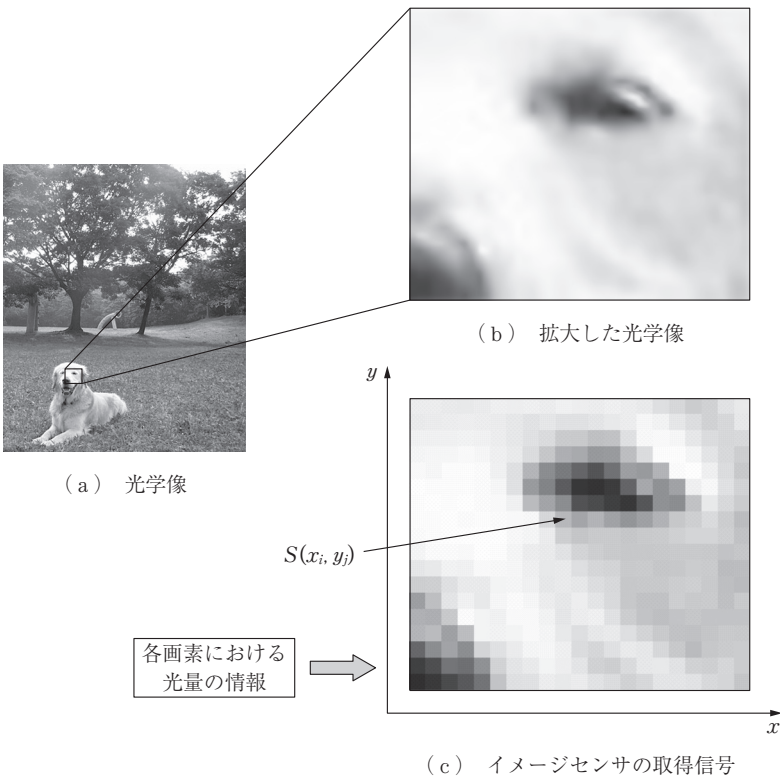


図1.5 光学像とイメージセンサの取得信号 (位置, 光量)

画素で区切るということは、光量情報を採取する位置の座標点とその領域を固定することであり、**図 1.6** に示すように連続したアナログ量である位置座標が、デジタル化されて離散的な座標点に置き換えられることを意味する。すなわち、 x_i と y_j は自由な値をとれるのではなく、撮像システム（ここではイメージセンサ）によってあらかじめ作りつけられることになる。このシステムによって位置情報と光量情報のうちの二次元の位置情報は既定の座標点として扱えるので、得ることが必要な信号は光量情報のみとなり、三次元の情報が一次元の信号に圧縮されたと考えることができる。

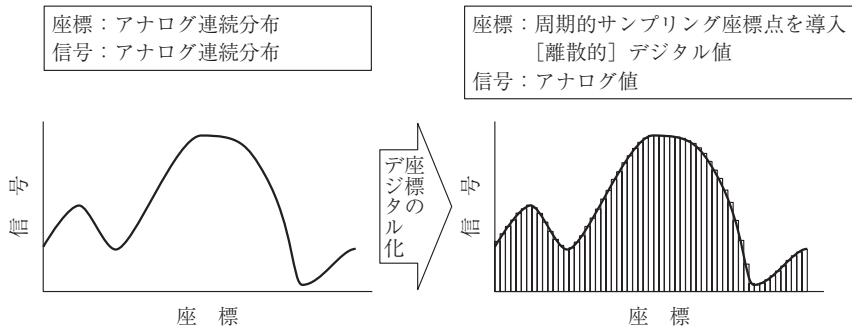


図 1.6 座標のデジタル化

イメージセンサの画素の総数が画素数であり、その数が多いほど取得可能な空間周波数が高くなる。イメージセンサには、**図 1.4** に示したように各画素のセンサ部への入射光量情報である電荷量情報を出口である出力部に伝達する走査機能部と、その情報を電気信号として出力する出力部が備えられている。

1.2.2 カラー静止画

カラー静止画像に含まれる画像情報はモノクロの情報に波長情報が追加された [強度、位置、波長] である。カラー画像を得るためには、波長情報を取得する必要がある。すなわち、入射光の波長情報を識別する必要がある。この方法にはいくつかあるが、最も一般的に用いられているのは、一つのイメージセンサでカラー画像を得ることができる単板カラー方式である。単板カラー方式

索 引

<p style="text-align: center;">【あ】</p> <p>アクセプタ 16</p> <p>アクティブピクセル</p> <p style="padding-left: 20px;">センサ 97</p> <p>アドレッシング 11, 53</p> <p>アナログフロント</p> <p style="padding-left: 20px;">エンド 178</p> <p>暗電流 27, 45, 77</p> <p>暗電流ショット雑音 45</p> <p>アンプ雑音 39</p> <p style="text-align: center;">【い】</p> <p>イオン化アクセプタ 17</p> <p>イオン化ドナー 17</p> <p>異常光線 150</p> <p>位 相 145</p> <p>イベントドリブン型</p> <p style="padding-left: 20px;">センサ 170</p> <p>イメージング</p> <p style="padding-left: 20px;">システム 1, 175</p> <p>色・階調変換 184</p> <p>色雑音 156</p> <p>色情報 152, 172</p> <p>色フィルタ 9</p> <p>色変換処理 183</p> <p>インタライン転送方式</p> <p style="padding-left: 20px;">CCD 60</p> <p>インタレースモード 50</p> <p style="text-align: center;">【う】</p> <p>埋込み CCD 58, 67</p> <p>埋込み MOS 構造 22</p> <p>埋込み PD 159</p> <p>埋込みチャンネル CCD 57</p>	<p>埋込みフォトダイオード</p> <p style="padding-left: 20px;">26, 61, 64, 67, 77, 109</p> <p style="text-align: center;">【え】</p> <p>エイリアシング 145</p> <p>エイリアス 145</p> <p style="text-align: center;">【お】</p> <p>折返し 145</p> <p>オンチップマイクロ</p> <p style="padding-left: 20px;">レンズ 67</p> <p>オンチップレンズ 158</p> <p style="text-align: center;">【か】</p> <p>解像感 184</p> <p>解像度 184</p> <p>界面準位 25, 26, 42, 44, 57</p> <p>画 素 4, 61</p> <p>画像情報品質 2, 175</p> <p>画像処理エンジン 180</p> <p>画素共有 110</p> <p>画素構造 63</p> <p>画素補間配置 94, 163</p> <p>画素レベル A-D 変換器</p> <p style="padding-left: 20px;">118, 128</p> <p>カラーフィルタ 7, 158</p> <p>カラムレベル</p> <p style="padding-left: 20px;">A-D 変換器 118, 119</p> <p>感光材料 27, 30</p> <p>完全空乏化 60</p> <p>完全転送 59, 60, 66, 141</p> <p>完全転送読出し 77</p> <p>感 度 157</p> <p>感度補正 180</p>	<p style="text-align: center;">【き】</p> <p>偽信号 156</p> <p>逆バイアス状態 19, 77</p> <p>吸収係数 27</p> <p>行選択 85</p> <p>強度信号 10</p> <p>近赤外 28</p> <p style="text-align: center;">【く】</p> <p>空間解像度 163</p> <p>空間サンプリング 146</p> <p>空間情報 163</p> <p>空乏化フォトダイオード 72</p> <p>空乏層 17, 18, 20, 23</p> <p>クランプトランジスタ 36</p> <p>グローバルシャッタ 139</p> <p style="text-align: center;">【け】</p> <p>欠陥補正 180</p> <p>原刺激 155</p> <p style="text-align: center;">【こ】</p> <p>光学 LPF 149, 150, 151</p> <p>光電変換 11, 159</p> <p>高利得 2 段ノイズ</p> <p style="padding-left: 20px;">キャンセラ 115</p> <p>光量情報 4</p> <p>固定パターン雑音</p> <p style="padding-left: 20px;">34, 37, 39, 100, 101</p> <p style="text-align: center;">【さ】</p> <p>サイクリック型</p> <p style="padding-left: 20px;">A-D 変換器 124</p> <p>雑 音 38, 141</p>
---	---	---

雑音低減 184
 撮像部 4, 61, 81
 差動方式 101
 サンプリング 143
 サンプリング位相 149
 サンプリング周波数 144
 サンプリング定理 145
 サンプリング
 トランジスタ 36, 47
 サンプリング幅 145
 サンプル幅 146

【し】

時間サンプリング 152
 時間情報 166
 色覚 155
 システム残像 66, 178
 シフトレジスタ 53, 85, 88
 出力部 6
 順バイアス状態 20
 常光線 150
 少数キャリア 17
 ショット雑音 37, 44
 シングルスロープ
 積分型 A-D 変換器 119
 信号処理 179

【す】

錐体 154
 垂直 CCD 61
 垂直帰線期間 49, 51
 垂直選択 85
 水平 CCD 61
 水平帰線期間 49, 51
 水平選択 85
 水平読み出し素子 95
 スミア 71, 83, 84, 93, 95

【せ】

正孔 15
 センサ部 11, 53, 61, 97

【そ】

相関二重サンプリング 34
 相互運用性 116
 走査回路 85, 88
 走査機能部 6
 走査部 11, 53, 97
 層内レンズ 68
 増幅型ノイズキャンセラ 113
 ソースフォロウ 98, 105
 ソースフォロワアンブ 32, 97

【た】

ダイナミックレンジ 160, 163, 171
 多数キャリア 17
 縦型オーバフロー
 ドレーン 67, 68
 短時間露光 160
 単板カラーカメラ 172

【ち】

逐次比較型 A-D 変換器 122
 蓄積部 81, 84
 チップレベル
 A-D 変換器 117, 118

【て】

デコーダ 53, 85, 88
 デジタル一眼レフ 184
 デジタル出力 115
 デモザイキング 10, 181, 187
 電荷計量 11
 電荷計量変換部 11, 53, 97
 電荷蓄積 11
 電荷電圧変換係数 109
 電荷量利得 99, 100
 電子シャッタ 52, 76, 136
 転送メカニズム 72

【と】

同期蓄積型センサ 166

ドナー 15
 ドナー不純物 15
 ドライブトランジスタ 32

【な】

ナイキスト周波数 145, 148, 150, 151, 163, 165
 ナイキストの定理 145

【に】

二相駆動 CCD 56

【ね】

熱雑音 39, 40, 43

【は】

ハイパスベクトル
 イメージング 173
 バースト撮像 167
 波長サンプリング 152
 波長情報 172
 パッシブピクセルセンサ 97
 反射防止膜 68, 159

【ひ】

光ショット雑音 44
 非平衡状態 77
 表面 CCD 58
 表面照射 132, 135
 表面蓄積層 20
 表面反転層 22
 ビルトイン電圧 18
 ビルトインポテンシャル 23
 ピンニング電圧 59

【ふ】

フィールド蓄積駆動 66
 フェルミ準位 13, 17
 フォトゲート 53, 82, 108
 フォトゲートセンサ 25
 フォトダイオード 26, 28, 53
 負荷トランジスタ 33
 複屈折 150

浮遊拡散層	32	【ま】	ライトパイプ	131	
浮遊拡散層アンプ	30	マルチバンドカメラ	ラインメモリ	140	
ブルーミング	68, 92		ランダム運動	41, 43	
フレームインタライン		153, 172	ランダム雑音	37, 39	
転送方式 CCD	84	【む】			
フレームシフト	81, 83, 84	無反射コーティング	157	【り】	
フレーム蓄積駆動	65		リセット雑音	39, 40, 47	
フレーム転送方式 CCD	80	【め】	リセットトランジスタ	30, 41	
フレームメモリ	140	眼の仕組み	154	裏面照射	131, 135
プログレッシブモード	49	【も】		量子効率	159
【へ】		網膜	154	輪郭強調	184
平衡状態	18, 19, 22, 77, 78	【よ】		【れ】	
ベイヤー配列	7, 153, 165, 172	横型オーバフロー		列選択	85
並列出力	167	ドレイン	68	列並列 A-D 変換	167
変調伝達関数	147	四相駆動 CCD	55	【ろ】	
【ほ】		【ら】		露光タイミング	92
ホール	15	ライトガイド	131	ローリングシャッタ	139
ホワイトバランス	181				

【A】		FDA	30, 53, 54, 61, 84, 99	MOS 電界効果	
AFE	178	FIT-CCD	84	トランジスタ	22
APS	97	FPN	37	MTF	147, 151
【B】		FPN 除去回路	103	【N】	
BSI	131, 135	FSI	132, 135	nnp ダイオード	93
【C】		【H】		np 積	78
CCD	141	Hyper-D CCD	160	n 型半導体	16
CCD センサ	53, 54	【I】		【O】	
CDS	34, 46, 101	ISIS	169	OCL	68
CMOS センサ	53, 96, 141	【K】		【P】	
CZP	147, 149, 151	kTC 雑音	40, 42, 46, 60, 91, 95, 141	PIA CCD	163
【D】		【M】		pn 接合	17
DSP	176, 186	MOS-FET	22	PPS	97
【F】		MOS 構造	20	p 型半導体	17
FD	32	MOS センサ	53, 85, 141	【R】	
				RTS	37, 40, 43

	【S】		【V】	
SFA		32, 97	VCCD	64
SN 比		45	VOD	67
	【T】		V_m のばらつき	100
TSL 素子		95	【数字】	
			1/f 雑音	39, 40, 42, 46
				【ギリシャ】
				$\Delta\Sigma$ 型 A-D 変換器
				125
				3 トランジスタ画素
				98, 102, 105, 107, 108
				3 板カメラ
				153
				3 板カラーカメラ
				186
				4 トランジスタ画素
				104,
				105, 106, 107, 108, 109

— 著者略歴 —

- 1972年 大阪大学基礎工学部物性物理工学科卒業
1978年 大阪大学大学院基礎工学研究科博士後期課程修了
(物理系物性専攻)
工学博士
1978年 松下電器産業株式会社勤務
2005年 松下電器産業株式会社退職
2006～2011年
パナソニック株式会社イメージセンサビジネスユニット
アドバイザー
2006年 映像情報メディア学会フェロー

イメージセンサの本質と基礎

Essential Principles of Image Sensors

© Takao Kuroda 2012

2012年12月21日 初版第1刷発行



検印省略

著者 黒田隆男
発行者 株式会社 コロナ社
代表者 牛来真也
印刷所 新日本印刷株式会社

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10

発行所 株式会社 コロナ社

CORONA PUBLISHING CO., LTD.

Tokyo Japan

振替 00140-8-14844・電話 (03)3941-3131(代)

ホームページ <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-00845-6 (安達) (製本:愛千製本所)

Printed in Japan



本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられております。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めておりません。

落丁・乱丁本はお取替えいたします