カラーイメージスキャナの設計技術

セイコーエプソン株式会社　一ノ瀬修一

１．はじめに

インターネットによるWeb Pageの普及は、画像入力装置の需要を加速度的に増加させている。中でも、立体物をデジタル画像ファイルにするデジタルカメラ、および、書類や写真フィルムをデジタル画像ファイルにするイメージスキャナは代表的な画像入力装置である。本論は、イメージスキャナの入門編として、その形態、画像取り込みまでの流れ、色分解の方式、基本設計技術について解説する。また、近年の画質に関る技術的な動向について概観する。[1),2)] 詳細な設計技術については書籍を参照されたい。

２．イメージスキャナの形態

2-1. ドラムスキャナ

ファクシミリによる画像転送のために開発されたリニアイメージセンサが普及する以前は、光電子増倍管(Photo Multiplier tube)という一種の光電変換素子を使ったドラム式のスキャナが主流であった。現在でも画像品質を優先する製版用に使われている。

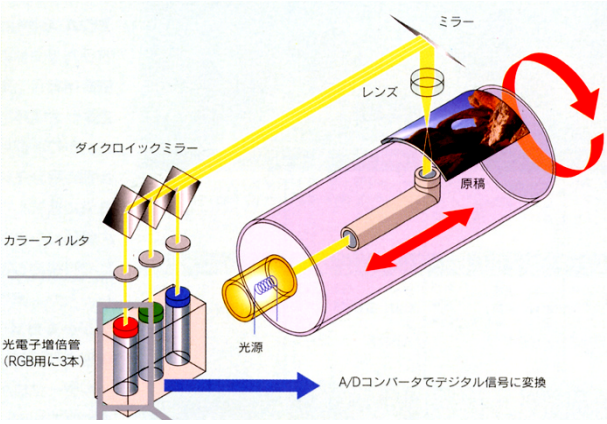


図１　ドラムスキャナの斜視図[3)]

原稿を透明円筒ドラムに貼りつけ機械的に回転させる。１画素を取り込む光電子増倍管を螺旋状（スパイラル）走査をすることで、２次元画像情報を得る。長所は、局所的に強力な光を投入するため迷光やフレアが少ないこと。また、画質を決める重要な要素の１つ”S/N比”を確保できることである。ポジフィルムなど高い濃度のフィルムでも暗部のディテールをあますところ無く取り込む。短所は、円筒状ガラスドラムに原稿を巻き付けるため、原稿の取り扱いが難しいこと、また、回転によるフィルムの浮きや、オイルを使ってフィルムを貼りつけるため、オイルが飛び散る点などである。

2-2. リニアイメージセンサを用いたスキャナ

数千個のフォトダイオードを１次元に配列したリニアイメージセンサを使う。１次元方向の画像情報をリニアイメージセンサにより同時に標本化し(主走査)、配列とは直角な方向にリニアイメージセンサを移動する(副走査)ことにより、２次元画素情報を得る。形態、構造や、走査機構により分類され、フラットベッドスキャナ、シートフェッドスキャナ、ハンディスキャナ、フィルムスキャナなどの呼称がある。

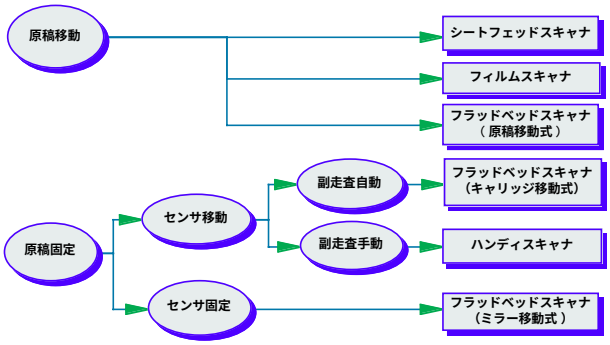


図２　スキャナの形態による分類

表１　各スキャナの特徴比較

	ズーム機構	小型化	立体物	フレア防止	製品例
シートフェッド	○	○	×	－	EPSON GT-2000
フィルムスキャナ	○	○	×	○	Nikon LS-2000
フラッドベッド（原稿移動式）	○	○	△	○	LynoType-Hell TOPAS
フラッドベッド（キャリッジ移動式）	△	△	○	○	EPSON GT-9600
ハンディスキャナ	×	○	×	－	富士通 RS-10
フラッドベッド（ミラー移動式）	○	○	○	△	CANON IX-4015 EPSON ES-8000

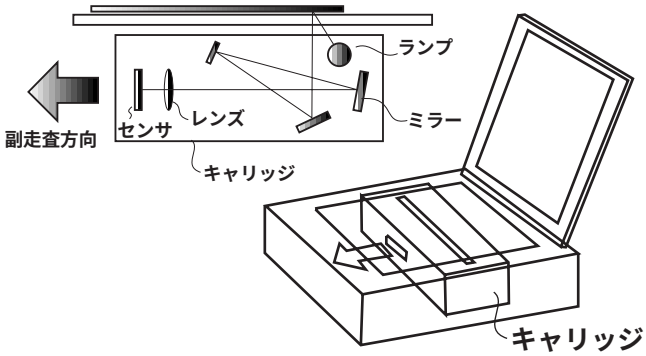


図３　フラットベッドスキャナ（キャリッジ移動式）

３．画像が取り込まれるまでの流れ

以降、現在最も普及しているリニアイメージセンサを用いたスキャナを中心に説明する。スキャンされた原稿が、デジタル画像データになってパーソナルコンピュータのディスプレイに表示されるまでには、大きく分けて 1) 光、2) 電気信号(アナログ) 3)電気信号(デジタル)の３つの流れとなる。図６におおまかなフローを示した。

3-1.光

まず、スキャナ本体は、内蔵するランプ消灯時に、環境光の入らない状態に保たれている。ランプは、原稿を約45度の角度で、照明する。これは、正反射(鏡面反射)光を拾わずに、原稿からの拡散光をセンサ上に導くためである。反射光の配光分布は、原稿の光沢度に依存する。[4) p-88] レンズ光軸は原稿面に対し垂直に取る。

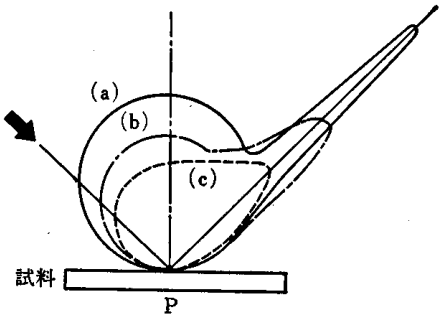


図４　光沢度の違いによる反射光の配光分布 [4) p-88]

レンズは、原稿からの拡散光(副走査方向に垂直な面内の拡散光)をセンサ上に結像する。

3-2.電気信号(アナログ)

リニアイメージセンサは、現在 CCD(Charge Cuppled Device)タイプが主流である。内部にフォトダイオード部と、電荷転送部(CCD シフトレジスタ部)を持つ。これに由来して、リニアイメージセンサ自体を単に CCD と呼ぶことがある。

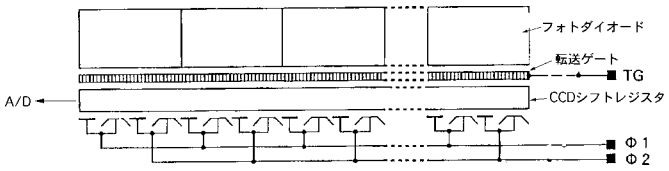


図５　リニアイメージセンサの概念図

リニアイメージセンサ内部での電荷の移動は下記の通り。フォトダイオードは光を照射されると電荷を発生する光電変換素子である。300 ピクセル／インチ(以降ppiと記す)取り込み原稿サイズ A4のスキャナで、約 2700 画素のフォトダイオードが並ぶ。１画素の寸法は、１辺が６～１２μmの正方である。

a) これら複数のフォトダイオードで発生した電荷は定期的にリセットされ(図 5,TG)隣接する CCD シフトレジスタに一斉にバケツの様に吐き出される。CCD シフトレジスタもフォトダイオードと同じ数だけ並んでおり電荷を受取るバケツになっている。

b) CCDシフトレジスタは転送パルス(図5,φ1,φ2)を受け取ると、配列方向に電荷を順送りする。そして一番端から順次１画素分の電荷を吐き出す。

c) 電荷は、電圧に変換され、更に A/D 変換を通じてデジタルデータになる。

d) 画素数分だけ、b)～c)が繰り返される。

以上が CCD シフトレジスタ１列分の情報を吐き出すまでの基本周期である。

e) 次にセンサの配列と直角な方向に解像度と同じ量だけ機械的にセンサを相対移動する。300ppiの場合、25.4mm/300= 85 μ m である。

f) 画像全域に渡ってa)～e)が繰り返され、はじめて２次元の全画像を得ることができる。

最後にアンプにより信号の増幅が行われた後、A/D コンバータにより、デジタルデータとなる。

なお、a)に述べたリセットパルス TG の周期は、フォトダイオードに照射される積分光量を決定する基本周期であり、蓄積時間と呼ぶ。

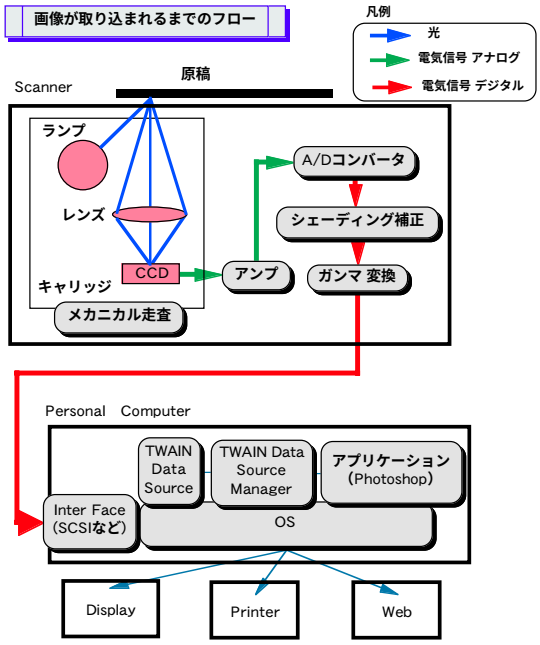


図６　画像が取り込まれるまでの流れ

3-3. 電気信号（デジタル）

A/D コンバータには、近年 10bit から 12bit が使用されている。またフィルムスキャニングを目的とした製版用の機種では、14bit や 16bit の A/D コンバータを搭載している。

デジタル化された画像データには、次に述べるシェーディング補正と、ガンマ変換が施される。これらの画像処理をパーソナルコンピュータ上のソフトウェア処理にて行う機種も存在するが、取り込み速度を優先する場合、スキャナ側で行う場合が多い。

3-3-1. シェーディング補正[5)]

シェーディング補正は、次の不均一要因の校正を目的とする。1) レンズ Cos^4 Θ則、2) ランプ主走査方向の照度分布ムラ、3) CCD画素毎の感度ムラ。

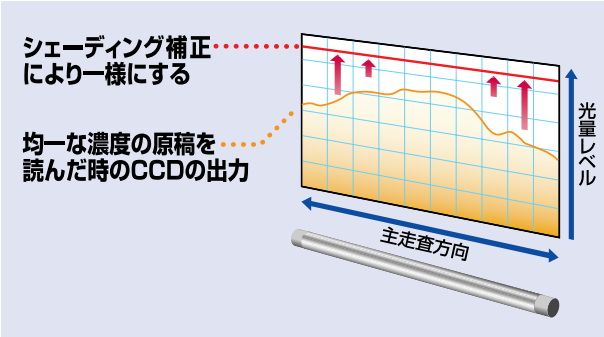


図 7　シェーディング補正の概念図[24) p-21]

これらの製品個体固有の特性は、1スキャニングを行う最中には経時変化の無いことを前提に補正が行われる。具体的には、原稿を載せるガラス台の一部に一様な反射率からなる白色板（白基準板と呼ぶ）を設置しておき、スキャニング開始前にその白基準をサンプリングする(I_w)。また、ランプを消灯して黒基準 (I_b)をサンプリングし、以下のデジタル処理を行い、画像データを校正（キャリブレーション）する。即ち、原稿のサンプリングデータ I_in を、校正された画像データ I_outに変換する。これを、総ての画素について行う。

$$I_out = (2^N) * (I_in - I_b)/(I_w - I_b)$$

ここで、Nは、A/D変換ビット数。またこの式は、センサの入出力特性が、入力光量に対し線形であることを前提にしている。その結果、I_outは、原稿の反射率に比例した値となる。

3-3-2. ガンマ 変換

スキャナは、原稿の反射率、透過率に比例した値として画像のデジタルデータを生成するが、CRT ディスプレイは入力信号に対して比例的に明るさを変える特性を持ち合わせていない。例えば、CRT ディスプレイのへの入力信号強度を半分にしたとしても、CRT管面上での輝度は半分にはならず、それよりもかなり暗くなる。この入出力特性を一般的にガンマ特性と呼ぶ。CRTのガンマ特性を示したものが下図である。

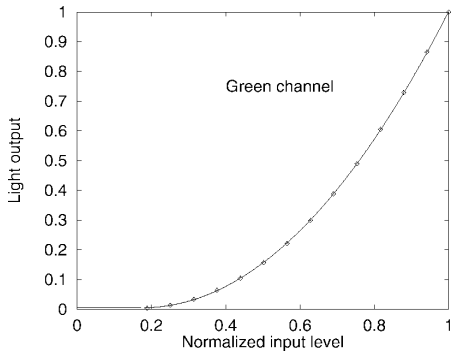


図 8　CRT の入出力特性[6)]

この様な特性を持つ CRT ディスプレイに正しく原稿の階調を表示するためには、スキャナから生成したデータに対して逆の入出力特性(逆ガンマ特性)をかけて出力する必要がある。目的は、原稿の反射率をCRT上の輝度として再現するためである。取込系、表示系を合せシステム全体として「リニアリティ」を確保しようとする考え方である。逆ガンマのカーブは、暗部を急激に明るくする特性である。

ちなみに、各 OS がターゲットとしているディスプレイのガンマ値は、Windows 98にて、sRGB[2.2]、Macintosh OS にて[1.8]である。

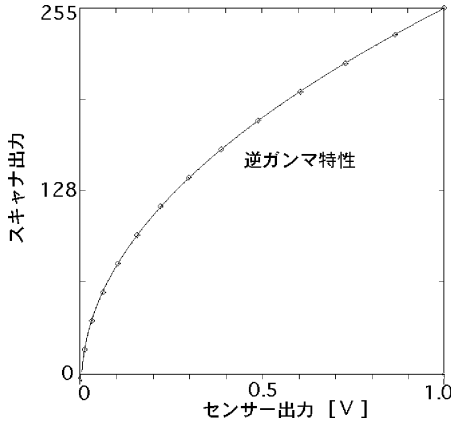
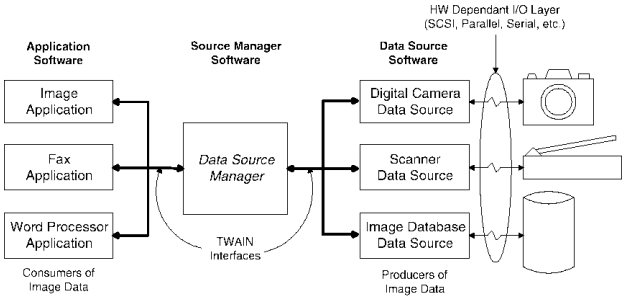


図 9　スキャナの持つ逆ガンマ特性

3-4.TWAIN[7)]

スキャナからSCSIなどのインターフェースを経由して、パーソナルコンピュータに画像データが取り込まれる。スキャナを直接制御するアプリケーションもあるが、近年はTWAIN Data Source Managerを経由して、アプリケーションに渡される方式が多くなっている。TWAINはアプリケーションとスキャナドライバソフトウェアとの間を取り持つＡＰＩ(Application Programing Interface)であり、次の構造となっている。



Introduction (TWAIN - Release v1.6-February 5, 1996)

図 10　TWAIN の仕組み[7)]

ここで、”Data Source Manager”は、TWAIN協議会[7)]で制定され公開、配布されており、”Scanner Data Source”は、スキャナメーカから供給される。一般に、「TWAINドライバ」と呼ばれるソフトはこのScanner Data Sourceに相当する。

TWAIN規格が登場する以前では、アプリケーションソフト側は、メーカ毎に異なるスキャナ制御コマンドを発行していた。結果、スキャナ側で新たな機能を追加しても、アプリケーションによってその機能がサポートされるまで、ユーザは使えなかった。

しかし、TWAIN規格の登場により、スキャナメーカはスキャナドライバをそのユーザインターフェース(＊)も含めて、提供することとなった。その結果、スキャナメーカにとっては、新規機能の搭載が自在となった。また、アプリケーションソフトにとっては、スキャナ製品やスキャナメーカ毎の個別プログラミングから解放され、TWAINに準拠したコマンドをTWAIN Data Source Managerとやり取りするだけで、TWAIN対応のスキャナドライバ、及びそのスキャナ製品を制御して画像を取り込むことが可能となった。

(＊) アプリケーション側にて独自のユーザインターフェースを用意し、スキャナメーカが提供するスキャナドライバのユーザインターフェースを表示せず、そのスキャナコマンド発行機能のみをバックグランドで使うモードもTWAINの規格として用意されている。

４．色分解方式

カラーイメージスキャナは、肉眼の３原色説に基づいて、Red,Green,Blueのそれぞれの階調データを得ることで、フルカラーデータとなる。この色分解方式には、使う光学部材の種類や動作方法の違いによって以下の方式がある。

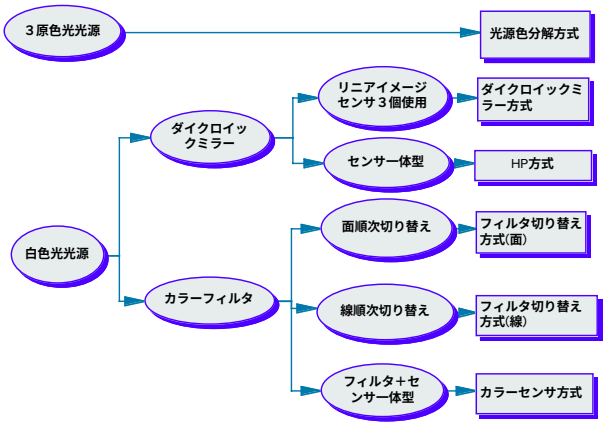


図 11　色分解方式

光源色分解方式、ダイクロイックミラーを用いた方式、カラーフィルタを面順次で切り替える方式、カラーフィルタを高速に回転もしくは往復駆動して線順次で切り替える方式、カラーセンサ方式などがある。

面順次とは、取り込み画像全域について、まずRedを取り込み、次にGreen,Blueと取り込む方式を言う。また線順次とは、主走査１ラインについて、Red, Green,Blueと取り込みを行い、１ラインの取り込みが終了した後、次のラインへ機械的に移動して、同じ動作を繰り返す方式を言う。

以上の方式は、近年のカラーCCDの急激な価格低下と共に淘汰され、大半は光源色分解方式か、カラーセンサ方式である。

表 2　色分解方式

	リニアイメージセンサの本数	RGBサンプリングタイムラグ	製品例	類似光学機器
光源色分解方式	1	1/3 line	EPSON GT-9000 NIKON LS-2000 CANON FB-620	
ダイクロイックミラー方式	3	0	リコー	３板式ビデオカメラ
HP方式	3	0	HP Scan Jet II cx	
フィルタ切り替え方式(面)	1	1 Page	EPSON GT-1000 Sharp JX-100	３ショット式 デジタルカメラ
フィルタ切り替え方式(線)	1	1/3 Line	NEC IN-506	DLP方式プロジェクタ
カラーセンサ方式	3	6~8 Line	EPSON GT-9500	単板式デジタルカメラ LCD方式プロジェクタ

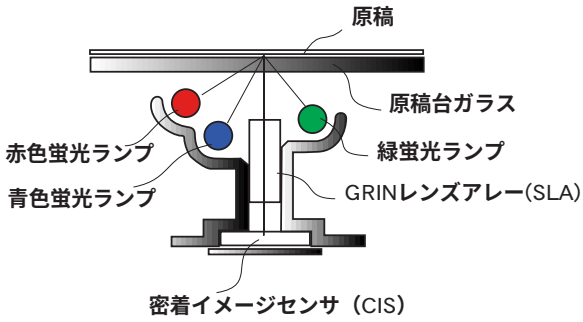


図 12　光源色分解方式[8)]

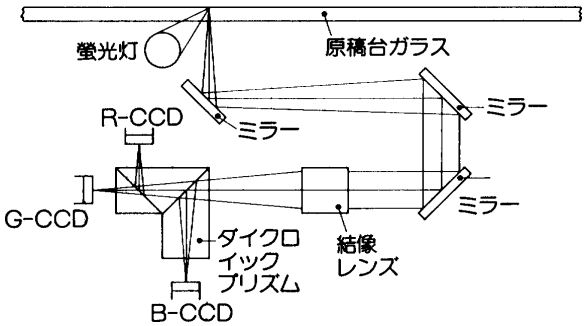


図 13　ダイクロイックミラー方式[8)]

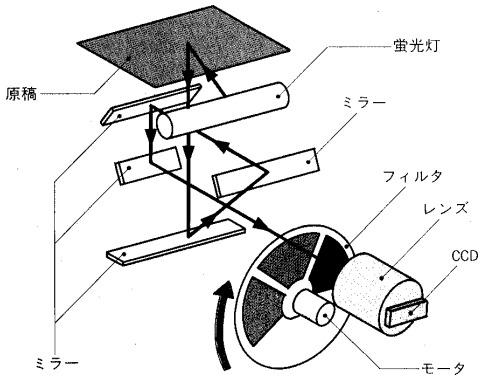


図 14　フィルタ切り替え(線)方式[8)]

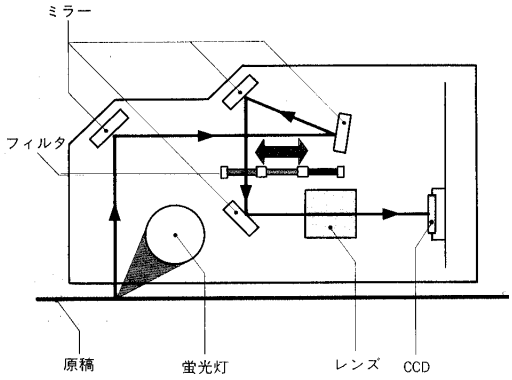


図 15　フィルタ切り替え(面)方式[8)]

５．基本設計

画像品質を決定するイメージスキャナの３要素、1) 解像力、2) 階調性、3) 色再現性について述べる。

5.1 解像力

解像力を設計する場合、原稿、用途、デバイスの３つの観点で決定される。

a）原稿

反射原稿では、写真印画紙や、印刷物が一般的である。印画紙は、通常600ppi 程度の情報を持つ。また、通常の(オフセット)印刷物は 175 線 / インチであり 350 ppi 程度の情報を有する。また、ロゴなどのアウトラインを忠実に取り込むためには、1200 ppi 程度の解像度を必要とする。一方、写真フィルムの場合、その粒状性で決まる。ISO 100のネガフィルムの場合、十分な階調情報を記録できる基本画素径は 10 μm程度である。[9) p-539] 50 cycle/mm 以上の解像度を有する。従って取り込み解像度としては 2540 ppi 以上が必要となる。

b）用途

OCR(光学的文字認識)ソフトを使った活字の自動認識において、使われている解像度は、300 ppi–400 ppi である。7.2 point の新聞文字を 1 文字あたり、30 x 30 pixel ～ 40x 40 pixel 程度の画素情報から文字認識をしている計算になる。

c) デバイス

使用するリニアイメージセンサの総画素数により、取り込み可能な原稿寸法と解像度が決定される。同じ原稿寸法にて、解像度を上げるためには、センサの画素数を増やす必要がある。

新たにリニアイメージセンサを設計する場合、センサの全長を変えずに、１画素あたりのセンサの面積を小さくすることで高解像度化する方法と、センサの１画素あたりの面積を一定にして、画素数の増加に応じて、センサの全長を長くする方法がある。前者は、原稿から、センサまでの光学系（キャリッジ、ミラー等）をそのまま流用できる長所がある。しかし、センサの感度、およびS/N比が低下する。後者は高解像度になるに連れ、原稿＝センサ間距離(光路長と呼ぶ)が長くなり、スキャナの寸法が増大する欠点を有する。

解像力を担う主要部品であるレンズは、以下のステップで設計される。

Step 1) 倍率：原稿面上での設計解像度とセンサ画素サイズにより、倍率を決定する。

Step 2) 画角：35~45度程度。大きいと収差が増す。

1),2) より原稿と光路長は一意的に決定される。

Step 3) F 値：取り込み速度、確保すべき階調数などと相関がある。一般に F4 から F8 程度。F が小さいと明るくなり、スキャン速度は向上するが、レンズ寸法(直径)は大きくなる。

5.2 階調性

CCD タイプのリニアイメージセンサの画質改善が進み、感度の向上や S/N 比の向上が目覚ましい。現在、ドラムスキャナと CCD リニアイメージセンサを用いたイメージスキャナの画像品質を見比べた場合、反射原稿に関しては、印刷結果などを見てもその差はほとんど解らない。しかし、ポジフィルムなどの高濃度な原稿を取り込んだ場合、未だその差は歴然としている。

この画質差の主要因は階調性のうちの暗部ノイズである。現在普及している CCD リニアイメージセンサにおける暗部ノイズの内訳は、アンプノイズ、暗電流ノイズ、光ショットノイズ等からなり、[10] 主要因は光ショットノイズである。[11] 光ショットノイズは、Poisson 分布で記述できる揺らぎを伴い、その標準偏差は光子数の平方根に比例する。[9) p-520]

N_noise = sqr(N_signal)

S/N比は、N_signal/N_noise

よって、

N_signal = (S/N) ^2　　（式）

つまり、目標　S/Nを決めれば、N_signal すなわちセンサ１画素当たりに投入すべき露光量が決まる。

~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~

N_signal、目標スキャン速度(＝蓄積時間)やレンズ設計値を与えることで、ランプにより照明される原稿上の目標輝度を計算できる。以下、手順を追って説明する。

1) N_signal = (S/N) ^2

2) センサ１画素への照射光子数に換算

N_total_photon = N_signal / η

N_total_photon：センサ１画素への照射光子数

N_signal：発生電子数

η：量子化効率

3) センサ１画素への照射光エネルギーに換算

E_total = N_total_photon * E_photon

E_total：センサ１画素への照射光エネルギー [J]

E_photon = h * C / λ：光子１個のエネルギー

h=6.6256*10^−34 [J・Sec.]

C=3.0 * 10^8 [m/Sec.]

4) センサ面での照度に換算

E_ccd = E_total * V(λ) / (S * T)

E_ccd：センサ面での照度 [lx]

V(λ)：視感度関数　[lm/W]　← 参考文献 12)

S : センサ 1 画素面積　　[m^2]

T : 蓄積時間 [Sec.]

1 [lx] = 1 [lm/m^2]

5) 原稿面上輝度に換算[13)]

L = E_ccd * {4 * F^2 * (1+ β)^2) } / (π * τ)

L : 原稿面上輝度　[cd/m^2]

F :レンズ口径比

β:レンズ倍率

τ: レンズ透過率

<計算例>

目標 S/N 比を光学的濃度(OD:Optical Density) 2.3 とする。

S/N = 10^2.3 = 199.5

上述した式に各パラメータを代入する。

N_signal = 39811　～約４万電子。

η ← 1.0

λ ← 555 [nm] = 555 * 10 ^−9 [m]

V(λ) = 680 [lm/W] (λ＝555 nm にて)

S : センサ 1 画素面積 ← (8 μ m)^2

T : 蓄積時間 ← 8 mS.

F:レンズ口径比 ← 6.0

β:レンズ倍率 ← 0.189

τ: レンズ透過率 ← 0.55

目標原稿面上輝度(L) は　L = 2,231 [cd/m^2]。

~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~

5.3 色再現性

原稿が有する色域(Color Gamut)を余すことなく取り込むためにはスキャナの総合分光特性が重要である。ランプ、色フィルタ、フォトダイオードがその主要因である。

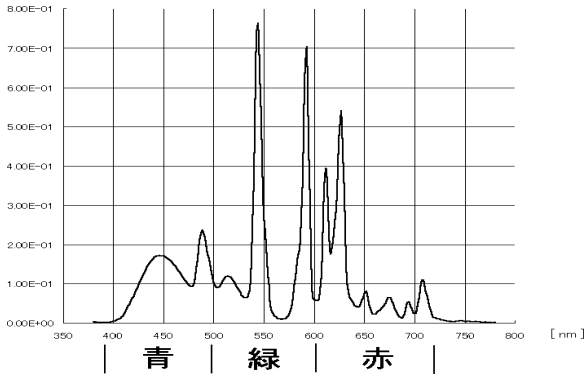


図 16　キセノン蛍光ランプの分光発光特性

a) ランプ

現状の蛍光ランプは、CRT と同様 RGB の３種類の蛍光体を混合して作られる。代表的な分光スペクトルを図16に示す。理想的には可視域全域に渡って一様なスペクトル強度を有する連続光であることが望ましい。

b) 色フィルタ

カラーセンサは、3本のフォトダイオードアレイの上にR,G,Bの原色フィルタを載せることにより構成される。この色フィルタの分光特性が、カラーリニアイメージセンサの生出力の色情報を決める。

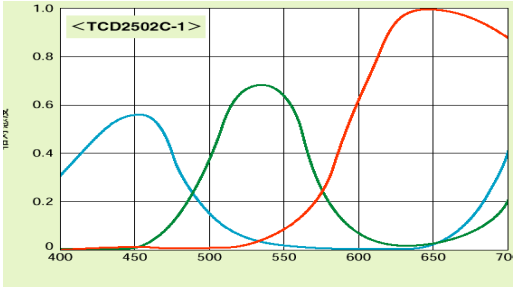


図17　カラーリニアイメージセンサの分光感度特性[14), 17)]

c) シリコンフォトダイオード

色フィルタの奥に隠れたフォトダイオード(図5)の素材はシリコン(Si)であり、最長の感受波長は1100nmである。色フィルタ無しのリニアイメージセンサ（シリコンフォトダイオード）の分光感度を図18に示す。赤外線成分を有するキセノン蛍光ランプ等を用いる場合は、赤外線成分を除去するためにランプ=センサ間に赤外線カットフィルタ等を設置する必要がある。

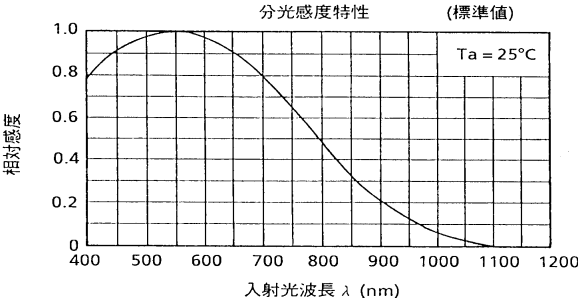


図18 シリコンフォトダイオードセンサの分光感度特性[14), 17)]

6．トピックス

6.1 小型化

ここ数年、密着イメージセンサ(CIS:Contact Image Sensor)を用いた300ppi,600ppiの安価なフラットベッドスキャナが普及している。原稿と同じ長さのセンサを用い、等倍結像の特殊なレンズ(GRINレンズ)を使う(図12)。これにより、原稿からセンサまでの距離は数cmで結像する光学系を実現できる。コンパクトな薄型スキャナは全てこの方式のものである。ただし被写体深度(許容焦点深さ)が浅いため、腕時計など凹凸のある立体物を取り込むと原稿ガラスから浮いた場所はピントがボケる欠点がある。

6.2 デバイス技術

6.2.1　照明系

イメージスキャナは、メカニカルな走査を行うため、スキャニング中のランプの光量変動は、取り込み画質に直に影響する。一般に利用される水銀封入タイプの蛍光ランプは、水銀の蒸気圧が気温に直接影響され、光量が安定するまでの始動時間が長い。[15)] LCDパネルの普及に伴って、細管化された冷陰極タイプの水銀蛍光ランプでは、かなり始動性は改善されてきているが、それでも最悪1分程度の待機時間を必要とする。一方、キセノンガスを封入した蛍光ランプの始動性はすこぶる良い。

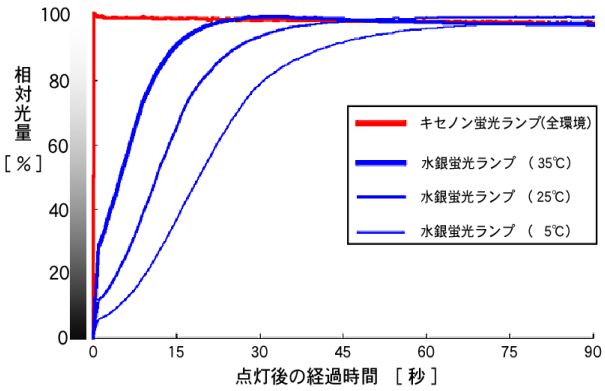


図19 水銀蛍光ランプとキセノン蛍光ランプの始動性比較

しかし、キセノン蛍光ランプは、紫外線の発生効率と、蛍光体の紫外線→可視光変換効率が低いために、水銀タイプの蛍光ランプに比べて光量が確保できなかった。近年、キセノン蛍光ランプの光量アップ、発光効率の改善が目覚ましく、光量は冷陰極タイプの水銀蛍光ランプを上回っている。

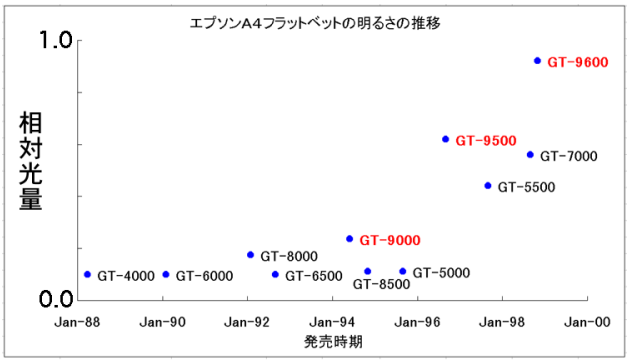


図20　キセノン蛍光ランプの光量の変遷

また、LEDや照明側に用いる光学部材の開発も進展している。日亜化学工業による高輝度青LEDの開発、量産化により、十分な光量が確保できるようになり、スキャン速度の向上に貢献している。更に、プラスチック成型による、点→線変換光学部材[16]との組み合わせで、非常にコンパクトでかつ、低消費電力(6W)なフラットベッドスキャナも登場している。

6.2.2　レンズ

リニアイメージセンサの多画素化に伴い、スキャナの解像度は年々向上している。合わせて、高解像度レンズの量産技術も改善されている。A4フラットベッドスキャナにおいても、300 ppiから、主流は、600　ppiに移ってきている。また、ズームレンズ機構や複数のレンズを切り替えることで4000 ppi近い解像度を実現している。更に、製版向けの機種では、主走査方向にも機械的な走査を追加することで（X−Yスキャニング）5600 ppiを実現する製品も登場した。

解像度が高くなるほど、その解像力を活かすための原稿側での被写界深度は狭くなる。その結果、組み立て精度や、キャリッジの熱膨張によるセンサ＝レンズ間距離(光路長)の変動など、微妙なズレがピントに影響してくる。そのため、原稿の平面性を保つ工夫や、自動焦点機構などの搭載が必要となる。

6.2.3　センサ

１画素の開口寸法を数十μmにしたCCDタイプのリニアイメージセンサを複数個配列した密着センサの開発と量産により、わずかな光量の光源でも十分なS/N比を確保できる構成が可能となった。

一方で、階調性の節で述べた通り、スキャン画像のS/N比を向上させるためには、光ショットノイズを低減すれば良い。よって、多量の光をセンサに貯えることで改善される。しかし、CCDタイプのリニアイメージセンサは、一定の露光量を越えると飽和する特性を持つ。そこで、高い光量を投入しても飽和しにくいセンサの開発が必須である。現在100万円を越えるハイエンドスキャナには、40万電子で飽和するリニアイメージセンサが使われており[18]、取り込み限界濃度をポジフィルムのそれに近づける努力が続けられている。

6.3 色再現技術

画像データがデジタル化され、ネットワーク環境下で扱われる様になった結果、オープンアーキテクチャでの色再現技術が必要となった。RGBという同一のソースデータを異なる機器に表示、印刷する時、ディスプレイ、出力機器に依存しない色一致の技術である。これらの概念は、Device Independent Colorと呼ばれる。すなわち入力装置であるスキャナ、出力装置であるディスプレイ、プリンタなど機種に依存せず、同じ色を再現するための概念である。

この技術のベースには、色は数値で表現可能であることが前提となる。色の定量化方法は、XYZ表色系が使われる[19]。XYZという絶対色を中間データとして扱い、入出力デバイス毎の色再現特性をそれぞれ独自のプロファイルを経て変換する。

こうした色再現のための仕組みをOS側で制御する時の道具をCMS(Color Matching System)と呼ぶ。MacintoshではColorSync[20]、WindowsではICMというCMSが標準となり、また、使用するプロファイルもICC(International Color Consortium)[21]形式として定義され、両OS間で共用可能となった。代表的画像編集ソフトPhotoshopも、1998年のVersionにてＩＣＣプロファイルに正式対応した。また、ColorSync 2.5より内部処理は16bitとなった。

ICCプロファイルには、色再現に関するデバイスの技術情報が組み込まれる。従来、スキャナとプリンタなど、入出力装置を組み合わせて、初めて定量的な評価(原稿と色が一致するかどうか等)が可能であり、スキャナ単体での定量的な色再現性に関する評価は不可能であった。何故なら、R,G,Bというデジタルデータ自体には何ら「色」は含まれていないからである。R,G,Bという信号と色情報(X,Y,ZもしくはL*,a*,b*)を結び付ける定義があって初めて評価が可能となる。

また、こうしたデバイスの技術情報が公開されることで、ユーザは画像入力装置単体で定量的な評価が可能となる。例えば、ICCプロファイルを使って、簡易的なXYZ測色計やL*,a*,b*測定器としてイメージスキャナを利用することも可能となってきている。

6.4 写真フィルムゴミ取り技術

1998年春、写真フィルム上のキズやチリに起因する画質劣化を防ぐフィルムスキャナが発売された[23]。この写真フィルムゴミ取り技術は、キズやチリが付着した写真フィルムを取り込む場合でも、自動でかつ高速に、スキャン画像から、ソフトウェア処理のみで、キズやチリを取り除くことが可能である。ただし、キズやチリはスキャン後に物理的に写真フィルムから取り除かれる訳ではない。

原理は以下の通り。図21は、380nm～1100nm

までの波長に対する、写真フィルム色素、キズの吸収特性を示すグラフである。近赤外線光λ=900 nm前後に注目した場合、ネガフィルムなどに使われている色素(Cyan, Magenta,Yellow)は、吸収は無く透明である。一方、キズやチリなどは、波長全域に渡って光を拡散する。すなわち、キズやチリの無い箇所に対して吸収率は大きい。センサは1100 nm付近まで感度を有する(図18)。

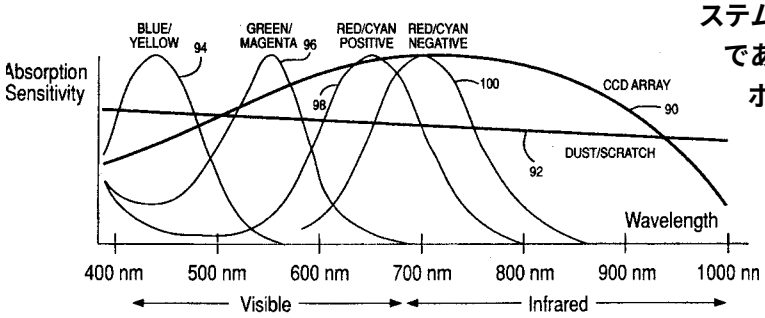


図21　写真フィルム色素、キズの分光吸収率[22)]

そこで、従来のRed,Green,Blueチャンネル以外に、赤外線を照射して赤外線チャンネルの画像データを得る。そして、ソフトウェア処理によりデジタル画像データからキズやチリを取り除いたクリーンなRed,Green,Blueデータを生成する。

6.5 マルチサンプリング

現在製品化されている最も飽和しにくいCCDリニアイメージセンサを使っても、原理的にはポジフィルムの標準濃度(OD 3.3)を光ショットノイズ無しに取り込むことはできない。先の5.2節の計算式によれば、1画素あたり400万電子を蓄える能力が要求される。しかし6.2.3節で述べた通り市販品は高々40万電子で飽和する。そこで、同じ画像を何度もサンプリングして、得られた画像をソフトウェア処理により、平均する手法が製品化されている。[23)] 光ショットノイズは、サンプリング回数の平方根で低減する。例えば、同一画素を16回サンプリングして平均処理を施した場合、取り込み可能な最高濃度値は、光学的濃度(OD値)に換算して0.6ほど改善される計算となる。

7．むすび

普及価格帯のカラーイメージスキャナを日本市場に投入してから13年が経過した。階調性や解像度では、まだドラムスキャナに及ばないが、反射原稿や、適正露光された写真フィルムであれば、業務用途でも十分実用可能な画像品質に到達しつつある。

また、ネットワーク化や情報公開法のうねりは、特定の人だけがアクセスできた紙の上の情報を万人のアクセス環境下に晒す潮流である。スキャニングを待っている資料はまだ大量に眠っている。パーソナルコンピュータが相互接続される程に画像入力装置の需要は増すことだろう。

また、デジタルカメラやイメージスキャナは、システムから見てプリンタ同様に標準装置となる方向である。例えば、ユーザがスキャナに用意されたボタンを押すとプリンタへのコピーが始まる、といった機能を持ったスキャナも登場している。今後、カラーコピー機能、ファイリングサーバのへの直接入力、電子メールへの簡易的な画像添付など、使い勝手を向上させる動きは益々活発になるであろう。

参考文献

1) 松下，カラーイメージスキャナ設計技術，トリケップス(1991)
2) R.G. Gann,"Desktop Scanners",Hewlett-Packard(1999)
3) 日本アグフア・ゲバルト，「デジタルスキャニングへの招待」(1995)
4) 応用物理学会光学懇話会編，「色の性質と技術」，朝倉書店(1986)
5) 田中，NEC，特開昭54-32013
6) http://www.map.chiba-u.ac.jp/IEC/100/PT61966/parts/part3/1966_15.pdf
7) http://www.twain.org
8) 映像情報，vol.19,1987/7
9) 日本写真学会，写真工学の基礎，コロナ社(1998)
10) 山口健，日経マイクロデバイス，1986/6，pp61-86
11) 西田，テレビジョン学会誌，39,No12,pp1176-1181(1985)
12) 照明工学，オーム社(1986)
13) 久保田，光学技術ハンドブック，朝倉書店(1990)
14) 東芝CCDリニアイメージセンサTCDシリーズデータブック(1993)
15) 照明学会，情報機器光源に関する研究調査委員会報告書，JIER-048,(1997)
16) 特開昭60-118806
17) http://www.semicon.toshiba.co.jp
18) Kodak KLI-8013 Series Linear CCD Image Sensor Performance Specification
19) JIS ハンドブック 色彩，JISZ 8701-1982
20) http://colorsync.apple.com/
21) http://www.color.org/
22) US patent 5,266,805
23) 鉾井，日本写真学会1998年次大会，C-03,pp41-43
24) WindowsDTP PRESS,vol.4,p21，技術評論社(1999)

他参考情報

・洪博哲，「お話・カラー画像処理」，CQ出版(1999)
・http://www.valley.ne.jp/～ichinose/Imaging_world.html