

## 2.2.1 イメージスキャナ

### (1) イメージスキャナの定義

イメージスキャナとは、「機械的な走査により、取り込む対象となる原稿(写真・文字・線画・立体物等)上の位置情報とその個所の色情報をデジタルデータに変換する、照明装置を内蔵した装置」である。原稿上の位置情報: 平面画像を2次元に格子分割した各要素を画素(pixel)と呼ぶ。既定の面に原稿を設置することにより、原稿上の寸法を正確にサンプリングするデジタイザの機能を有する。色情報: 肉眼は、可視光域(380nm 780nm)の電磁波を感じる際に、3つの独立した色として感じる能力を持つことが明らかにされている。<sup>(1)</sup> 一般に青、緑、赤の3種類の色を独立情報として扱う。デジタルデータ: 歴史的に、スキャナは、謄写ファックスと同様、原稿から得られる電気信号をリアルタイム処理により色分解を行いY/M/C/K各版を作成する製版装置として始まった。しかし、デジタルデータの利点(メディア依存の無い保存性、劣化の無い複写性、編集加工性)を画像データにおいても引き出せるほどに、メモリの低価格化とコンピュータの処理能力の向上が近年急激に起こった事により、コンピュータへ画像を取り込むだけの単機能な装置が普及した。現在は、こうした「コンピュータへ画像を入力する、照明装置を内蔵した装置」を一般的にイメージスキャナという名で呼ぶ。現在主流のコンピュータは、色情報を1画素あたり最大24bitのデジタルデータとして扱う。独立した色数にして1670万色(=2<sup>24</sup>)、Blue、Green、Redの3原色の情報にして各色256段階の強度(256階調:8ビット情報)を持つ。

### イメージスキャナの種類

#### [ドラムスキャナ]

原理: 原稿を1画素ごとに時系列的に取り込む。光学系は、1点を集中的に照明する微小かつ強力な点光源と注目する画素の像をセンサーへ結像するレンズ、光センサ(フォトマルチプライヤ)からなる。図1参照。原稿を取り付けた透明なガラス円筒を軸中心に回転させ、円筒の円周をセンサがスパイラル状(またはステップ状)に走査することにより2次元画像を得る。

原稿: 反射原稿(印画紙、印刷物、線画など平面情報であれば全て)、透過原稿(フィルム)。 解像度: フィルムの持つ画像情報を引き出すために20,000ppi(1インチ=25.4mm

当たり2万画素を発生する解像度)クラスが存在する。すなわちミクロンオーダーを取り込む。

価格: 100万円~5000万円。

光源には、点光源(1点で発光すること)が望ましいためハロゲンランプが用いられる。

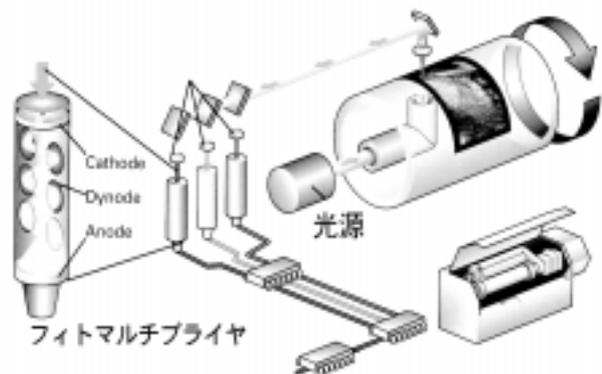


図1: ドラムスキャナ<sup>(2)</sup>

#### [フラットベッドスキャナ]

原理: 複写機と同様に原稿を透明なガラス板の上に下向きに置く。光学系は、線状に照明する光源と、注目する1列の像をセンサへ結像するレンズと1次元にフォトダイオードを配列したセンサ(CCDリニアイメージセンサ)からなる。原稿上の1列分の画素を丸ごと取り込み、その配列とは直角な方向に順次、原稿を相対移動させて時系列的に2次元画像を得る。

センサの配列方向を主走査、相対移動の方向を副走査と呼ぶ。図2参照。<sup>(3)</sup>

原稿：反射原稿、透過原稿、などの平面原稿に加え、立体物（電子回路基板、腕時計、絵画、花）なども数センチくらいまでであればピントが合うため取り込みが行われる。

解像度：300 ppi 1200ppi。出版専用機ではズームレンズ機構を搭載することにより4,000ppiクラスが存在する。価格：普及機は5万円～20万円。出版専用機は750万円～2000万円。価格差の主要因は、取り込みサイズ、解像度、専用オプション類やソフトウェアによる作業効率性の違いに有る。取り込み速度、階調再現性等のデバイス（光源、CCD）に依存するスキャナ機能については、普及機と出版専用機との差が縮まりつつある。

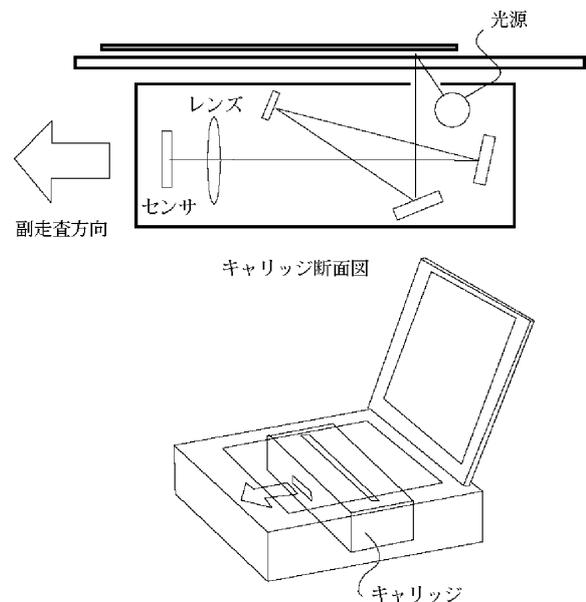


図2：フラットベッドスキャナ<sup>(3)</sup>

#### [フィルムスキャナ]

写真機により撮影された35mm等のフィルムに特化したイメージスキャナは、フィルムスキャナと呼ばれる。原理：透過原稿取り込み可能なフラットベッドスキャナと原理は同じ。35mmフィルムにて2700ppi相当の解像度を実現するために、2700画素のCCDが用いられる。これは、300ppi/A4フラットベッドスキャナのCCD相当である。原稿：35mmネガフィルム、ポジフィルムが主流。96年よりAPS式フィルムの普及により35mm/APS兼用フィルムスキャナが発売されている。解像度：1200 ppi 3000 ppi。A4/300dpiで印刷出力するために、2700 ppiクラスのスキャナが多い。

#### [Tips-1 : dpi と ppi]

dot per inch : プリンタやディスプレイ等の物理的な表示装置において用いられる単位。1インチ(25.4mm)あたりに何ドットの独立した色情報が有るかを示す。

pixel per inch : コンピュータが画像情報をデジタルデータとして扱えるようになった結果、画素という概念は、物理的な寸法を持たないものとなった。そこで、画像入力装置において、原稿上の所定長さ当たりの画像情報をいくつの画素に分割取り込むかを表す単位として、ppiが用いられる場合がある、本稿では、入力系をppi、出力系をdpiで表記する。

#### (2) 用途・市場

[印刷、出版]: Printing

印刷用の画像取り込み装置としては、ドラムスキャナがまず開発された。センサの感度範囲(ダイナミックレンジ)が非常に広いため、出版業務用として現在でも主流を占める方式である。ファクシミリ(FAX)の低価格化により誕生したCCDセンサの応用として始まったフラットベッドスキャナは、性能向上と共に、ドラムスキャナの替わりに使われた(1995年)。性能向上の主要因は、CCDの画素数の増加による解像度向上、並びにCCDのダイナミックレンジ向上による、ノイズの低減である。反射原稿においては、フラットベッド式のイメージスキャナでも必要十分な品質に達した(1995)<sup>(4)</sup>。また、光学濃度(Optical Density)3.0相当のフィルムの画像入力品質が印刷に耐えるレベルに近づきつつある。

[OCR]: Optical Caractor Recognition

光学的文字認識。過去に紙に記録された活字情報を文字コードとしてデジタル化して再利用（検索による参照、複製による再加工）する。低価格なOCRソフトウェアの普及により、スキャナの用途に占めるOCR比率は高くなっている。英文は電子辞書を用いた推論機能との併用により、300ppiの解像度にて十分実用域に達している。日本文は、400ppiを主流にソフトウェアの発展途上段階である。

[デザイン]: Designing<sup>(5)</sup>

コンピュータ、イラスト作成ソフトウェアと通信環境の普及によりデザイン業務を個人が独立した事業として行えるようになってきている。文字フォント、ロゴなどの図版、手書きデザインなどの入力手段としてイメージスキャナが用いられる。

また、カタログ、パンフレットの作成を依頼してくる顧客に対して、最終仕上がり予想物（カンブと呼ばれる）をプレゼンテーションするために、挿入するフィルム（4x5インチポジフィルム）の仮入力手段として、透過原稿対応のフラットベッド型イメージスキャナが使われ出した（1992年）。現在では、ドラムスキャナに替わり、最終画像データ（直接出版に使うデータ）のための取り込み手段としても使われている（1995年）。

[画像ファイリング]: Filing

インターネットの普及（1996年）と情報公開を求める市民の動きが、公的（国会、地方自治体、公共機関）な情報を自由に閲覧可能とする仕組みを作りつつある。

また、企業内においては、情報共有機構の構築に力が注がれている。必要な者に必要十分な情報が行き渡り、絶間なく変化する市場環境に柔軟に、かつ素早く適応する仕組みの構築が目的である。従来紙を基本とした企業内情報伝達の仕組みをコンピュータサーバとネットワークにより代用するものである。原理的に完全に開かれた場であるインターネットに比べ、情報発信者、閲覧者に応じて機密管理レベルを設定するこれらの機構はイントラネットと呼ばれている。ここで、網の目の様に相互接続されたコンピューターに接続されたイメージスキャナは、従来の複写機の機能を代替することが予測される。

[DTP]: Desk Top Publishing<sup>(6)</sup>

コンピュータ、ページレイアウトソフト、カラープリンタの組み合わせにより、従来、印刷するにはコストが見合わなかったフルカラーでの小部数出版（200 2000部）が可能となっている。社内報などの企業内出版やホテルや自営業者が日々、毎週行うイベントの広告、チラシ、ポスター、メニューなどに使われる。

[教育]: Education

独自の図書館機能や出版機能を個人でも持てる時代になっている。'homepage'とよばれるインターネットサービスの1つである。イメージスキャナは手元に有る原稿をhomepage画像として入力するために使われている。

イリイチは、1970年にその著書にて、個人が網の目のように繋がった知的環境が整備された場合、従来の固定的な教育体系の欠点を克服できる可能性を示唆した<sup>(7)</sup>。教育することを職能とする者（教師）と教育される者（生徒）という固定的な人間関係、特定の場所（学校）にて、特定の年齢の者（小学生～大学生）に対して、特定の知識（カリキュラム）が伝達される、という近代が産み出した教育システムを変革する思想を語った。インターネットの普及は、イリイチの夢見た世界を4半世紀を越えて現実のものとしつつある。すなわち、いつでも、誰もが、その時に自分が最も関心を持つ知識分野に対して、年齢や居住場所とは無関係に、その分野において最高の知識を持つ者、または、求める者にとって最適な伝達能力を持つ者から、直接的に教育を享受する環境が実現しつつある。

(3) スキャナ機能と、光源機能の相関

イメージスキャナの光学部品の構成要素は、光源、結像系、センサーからなる。光源は、イメージスキャナの取り込み速度、階調再現性などを決める重要な要素部品である。表にイメージスキャナの機能と光源の機能との相関をまとめた。<sup>(8)</sup>

表1：イメージスキャナの機能と光源の機能の相関

S：スキャナ側で行われている対策。L：光源側で行われている対策。

スキャナ機能 光源機能	取り込み速度	階調再現性	解像度	色再現性	寸法	消費電力
光量、発光効率				-	S:排気ファン	S:ESP
発光分光特性	-	-	-	L:連続光	-	-
光量安定性	S:始動待機	S:副走査の光量補正	-	S:色毎の光量補正	-	-
寸法	-	S:シェーディング補正	-	-	L:電極構造	-
寿命	-	-	-	-	S:交換機構	-

[スキャナ機能]

取り込み速度：

取り込み速度は、下式で決まる。<sup>(9)</sup>

$$\text{取り込み速度} = \text{原稿面照射光量} \times \text{レンズの光伝達効率} \times \text{センサ感度} \quad \text{---- 式(1)}$$

レンズの光伝達効率は、解像度の項目で述べる。

<センサ感度>

センサ感度は、下式で決まる。

$$\text{センサ感度} = \text{センサ出力値} / \text{CCD 上の単位時間当たりの照射光量} \quad \text{---- 式(2)}$$

CCDメーカーのカタログスペックに謳われる数値を信用してはいけない。CCDに内蔵されるアンプの倍率如何で、容易に感度を上げたように見せかけることができるからである。従って、感度の定義を次の様に考えると現実的である。

$$\text{感度} = \text{センサダイナミックレンジ} / \text{CCD 上の単位時間当たりの照射光量} \quad \text{---- 式(3)}$$

ここでのセンサダイナミックレンジは、S/N比と呼ばれる。有効信号出力電圧値(Signal)を暗時出力電圧値(Noise)で割った値である。初段の光電変換部のフォトダイオードの量子効率ほぼ1に近く、1つの光子で1つの電子が発生する。

センサの現在の開発課題は、アナログ処理の過程でいかにノイズ成分を信号成分に載せずS/N比を上げるかにある。CCDメーカーの努力によりS/N比の向上は目覚ましい。現在、S=4V,N=数ミリV相当となっている。すなわち、10bit (=1024 階調)階調再現性を確保することができるようになった。しかし、ここにも壁は有り光ショットノイズと呼ばれる光の量子性に因るノイズが顕著になる。いずれにせよ、十分な光が必要となる由縁である。

<原稿面照射光量>

原稿面照射光量は、ランプの光量に比例する。しかし、光エネルギーの利用効率を計算すると殆どの光を無駄にしていることが解る。例えば、300ppiのイメージスキャナは、原稿上で、83 μm程のエリアをCCDセンサ上の1つのフォトダイオードにて画素として取り込む。もしランプが原稿上で15mm程の副走査方向の幅を照射しているとすると200倍以上の利用しない無駄な光があることになる。これらの不要光は、迷光となって取り込み画像品質を低下させる原因となる。

原稿上での照射幅を83 μmにできない理由は、原稿の浮きを許容する必要があるためである。原稿は、ランプにより斜めから照明される。CCD側の結像系は、原稿面に対して垂直な

光軸にて結像される。そのため、わずかな原稿浮きがあるだけでランプの照射位置は、取り込もうとする位置から外れてしまう。図3参照。<sup>(10)</sup>

原稿面に対してランプを斜めから照明する理由は、拡散光を読み取るためである。原稿を垂直に照明すると、正反射光と呼ばれる光沢原稿の表面反射光をCCDと一緒に受光してしまい、コントラストは低下する。図4は、「光沢度」の解説図である。指向性の高い平行光を矢印の方向から試料に照射した場合の、反射光の幾何学的な強度分布(=配光分布)を示す。光沢度の大きい順に $a>b>c$ の配光分布を示す。印画紙や写真集など、光沢を有する原稿の配光分布はこの図のaに相当する。試料Pの箇所を取り込むためには、矢印方向から光を照射し、試料(=原稿)に垂直な方向に結像系の光軸を配置する。

現在達成している取り込み時間は下記の通り。白黒にて、主走査1列当たり、1ミリ秒以下。300ppi/A4にて $300 \times 12 \times 1 = 3.6$ 秒。複写機と同じ標記をすると17ppm(page per minutes)相当である。フルカラーにて、主走査1列当たり、5ミリ秒以下。300ppi/A4にて $300 \times 12 \times 5 = 18$ 秒。3.3ppm。目標値は、白黒で40ppm以上。フルカラーで5 ppm以上。

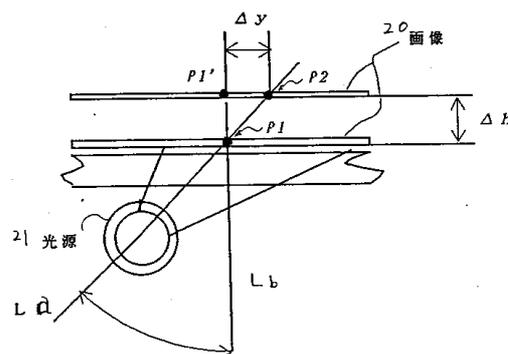


図3：スキャナの照明方法。<sup>(10)</sup>

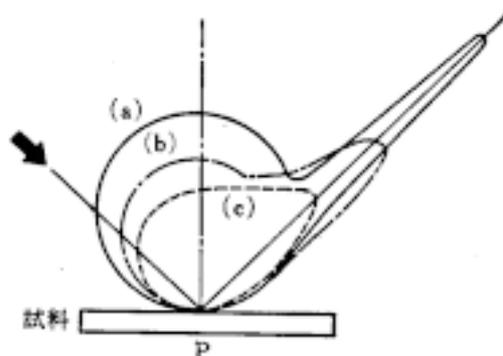


図4：光沢度の違いによる反射光の配光分布。<sup>(11)</sup>

光源の光量安定まで時間を要する場合、スキャナソフトウェアドライバーにて10秒～30秒の「ウォームアップ時間」を用意するイメージスキャナもある。

### 階調再現性：(ダイナミックレンジ、ノイズ)

階調とは、白から黒への反射率(または、透過率)変化を表現する際の有効刻み数を意味する。従って階調再現性とは、白から黒へ滑らかに変化する情報を忠実に再現するための指標である。厳密には、リニアリティ(原稿の反射(透過)率に比例した信号を取り出すこと)と、S/N比(信号出力に対するノイズ出力比率、またはダイナミックレンジ)の2つの指標に分解する必要のある指標である。現在多くのイメージスキャナは、R,G,B、各色8ビット、即ち各色256階調の出力をうたっている。また専用のアプリケーションソフトウェアでは、各色16bitをサポートし始めており、スキャナ側の階調再現性としては、4096階調(12bit)以上の能力が要求されている。8 bit(OD濃度2.4)以上の階調性が要求される由縁は、ポジフィルム(OD濃度3.0以上)取り込みのためである。[TIPS-2：bit,OD,ダイナミックレンジ]の解説参照。

### <主走査の補正>

センサ出力値は下式で決まる。

センサ出力値 = 原稿面照射光量 × 原稿反射率 × (その他の要因) ---- 式(4)

イメージスキャナは一種の反射率(透過率)測定装置であるので、センサ受光量(時間積分値)とセンサ出力値とが比例しているセンサ特性域を利用して、原稿反射率の数値化が行われる。光量を取り込み過ぎると「ブルーミング」と呼ばれる電子アフレを生じ画像劣化につながる。式(4)より、センサ出力値を定量化して原稿反射率に相当する数値を得るために、要因「原稿面照射光量」と「その他の要因」は、目標とする精度内で一定でなければならない。つ

まり、256階調の数値化をするのであれば[1/256=0.4%の変動]に抑えなければならない。ここで「その他の要因」とは、「レンズの周辺光量低下」と「センサー感度の画素間バラツキ」である。これらの要因は、量産時の「個体差:n」や、環境温度や長時間使用時といった「経時変化:T」により変動する。個体差であれば、出荷時の個別調整という対策を取ることが可能である。しかし、経時変化に対しては、動的な校正手段(毎回取り込み時に補正作業を行う)を必要とする。

一般に、ランプの管長方向(主走査)の光量分布のパターンは、ランプ個体差や長時間点灯により異なる。即ち、n,T共に変動する。レンズとセンサの変動要因はnのみ。通常の蛍光ランプについて、管長方向の光量分布(=光量一様性)を0.4%の範囲に抑え、かつ量産に見合う価格で製造することは不可能である。そこで、個体差:n、経時変化:Tの2つの要因を校正する手段として「シェーディング補正」と呼ばれる主走査方向(ランプ管長方向)の校正手段を用いる。

(シェーディング補正の原理)

原稿を取り込む前に、主走査方向に配置した反射率が既知である「白基準」と呼ばれる原稿を取り込み、変動要因を記憶する。式(4)を変形して、

$$\begin{aligned} \text{変動要因} &= \{ \text{原稿面照射光量} \times (\text{その他の要因}) \} \\ &= \text{センサ出力値}(\#) / \text{既知の原稿反射率} \end{aligned} \quad \text{--- 式(5)}$$

(#)既知の原稿を取り込んだ時のセンサ出力値。この記憶した変動要因を(4)式に代入することにより、原稿反射率を算出可能とする。実際の設計では、白基準だけでなく「黒基準」のサンプリングも行う。ただし、シェーディング補正により補正可能であるからといって、いくらでもランプの光量分布に不均一性があっても良いかというところでは無い。センサのノイズは照射光量に因らず存在する。S/N比率を目標階調数以上に上げるためには、一定量以上の信号光量が必要となる。例えば、光量分布において最大値と最小値とで2倍の差があれば、最大光量箇所に対して最小光量箇所のS/N比は、1ビットの階調再現性低下を生じる。センサ出力を有効に利用するためには、上限が有ることは既に述べた。従って、光源の光量一様性は均一な程良い。

<副走査の補正>

以上述べた様に、主走査方向のランプ光量分布のムラは、シェーディング補正により補正できる。これがアナログ式の複写機用光源に要求される仕様と異なる点である。しかし、もし取り込みを行っている最中(副走査時)の変動が有れば、原稿反射率変化との分離は原理的に不可能となる。(4)式に示した要因の内、副走査時の最大の変動要因は、原稿面照射光量、即ち取り込み最中でのランプの光量変動である。

この対策として下記2つの手段がある。

1)光量変動の極めて少ないランプを採用する。

2)光量変動を実時間にて測定して、原稿面(照射)光量の補正又は光量制御を行う。

1)は、水銀の変わりに希ガス(キセノンやネオン)を封入使った希ガス蛍光ランプが登場したことにより、現実的な対策となっている。2)の手段は、水銀を封入した蛍光ランプを十分な待機時間無しに点灯直後から使うためには、特に必須技術となる。2)の方式は更に2つに分類される。

2)-ア. 1変数による補正または光量制御。

2)-イ.シェーディング補正と同様に毎回全域の補正を行う。

2)-イ.の方法は、別途ランプ光量を計測する1次元センサーを要するため低価格化には向かない。2)-ア.の方法は、副走査方向の原稿の端に、別途白基準板を設け、その基準板の反射出力

値にて1変数補正、または光量制御をする方法である。

しかし、2)-ア.の方法を用いても補正できない変動が存在する。ランプ長方向の場所による変動差である。主走査取り込み中ランプ全域にて全く同じ傾向で光量変動が起きることが要求される。すなわち、点灯後の光量変動(光量変動率と呼ぶ)を許容するとしても、主走査方向(ランプ長軸方向)での中央と端部にてその変動率を比較した場合、その差(光量変動率差と呼ぶ)を0.4%以内に抑えることが要求される。光量変動を計測する時間は約1~3分間である。

[TIPS-2 : bit, OD, ダイナミックレンジ]

スキャナの階調数、bit、最大光学的濃度[OD]、ダイナミックレンジ[db]は、下式にて算出される。

$$\text{階調数} = 2^{\text{bit}} \quad \text{--- 式(6-a)}$$

$$\text{最大光学的濃度[OD]} = -1 \cdot \log(1/\text{階調数}) = [\text{bit}] / 3.322 \quad \text{--- 式(6-b)}$$

$$3.322 = 1/\log(2) \quad \text{--- 式(6-c)}$$

$$\text{ダイナミックレンジ[db]} = 20 \cdot [\text{OD}] \quad \text{--- 式(6-d)}$$

### 解像度:

レンズの光伝達効率<sup>(12)</sup>は、下式で決まる。

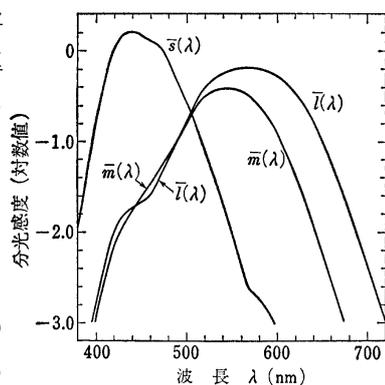
$$E_c = E_s \times \tau / \{4 F^2 \times (1 + \beta)^2\} \quad \text{--- 式(7)}$$

$E_c$ : CCD面照射光量。  $E_s$ : 原稿面照射光量。  $\tau$ : レンズ透過率。  $F$ : レンズ絞り(口径比)。

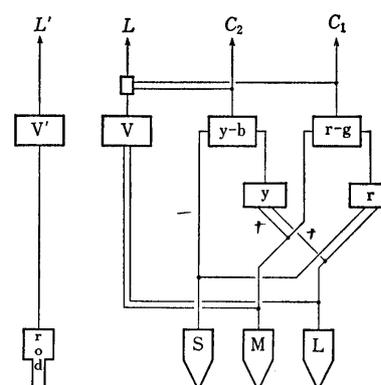
$\beta$ : 倍率。  $\beta$ は取り込み原稿側での基本光学解像度と使用するCCDの画素ピッチで決まる縮小倍率である。現在、基本光学解像度はA4サイズ原稿対応のフラットベッドスキャナで300ppi~600ppi、CCD画素ピッチは7 $\mu$ m~12 $\mu$ mであり、 $\beta$ は0.125前後である。センサの画素を細かくすることにより解像度を上げようとする、CCD面照射光量( $E_c$ )が減少するため取り込み速度が落ちる。取り込み速度を下げずに解像度を上げる方法としては、(1)(7)式より1)光源の光量を上げる。2)結像系の口径比(F値)を下げる。3)センサの感度を上げる。4)階調再現性を劣化させる。の4通りの方法がある。Fを下げる(レンズを明るくすると)、収差と呼ばれるレンズ性能劣化が生じる。またレンズ径が大きくなるのでスキャナの小型化が困難となる。センサの感度は、階調再現性の項目で述べた通り発展途上である。従って、「階調再現性を確保しつつ、取り込み速度を下げずに、解像度を上げる方法」は、原稿面照射光量( $E_s$ )を上げる以外に方法は無い。スキャナを取り込み画像品質の向上は、ランプの光量アップにかかっているといっても過言ではない。

### 色再現性:

色再現性を確保するため、イメージスキャナの分光設計が行われる。コンピュータにとって目の替わりをするカラーイメージスキャナは、本来人間の肉眼と同様な分光特性を持つことが理想である。色覚の研究から人間の目が3つの異なる分光感度を有する受光素子としてモデル化できることが確認された。図5、図6参照。色を定量的に表すことを目的として1931年、CIE(Comimition International del' Eclairage)により三刺激値による表記が提唱された。この定義により、X,Y,Zが等しい2種類の色は、人間の目には同じ色であるとさ



L, M, S 錐体の分光感度曲線



色覚モデルの1例

図5: 肉眼網膜、錐体の分光感度。図6: 色感覚モデル。

色覚の研究から人間の目が3つの異なる分光感度を有する受光素子としてモデル化できることが確認された。図5、図6参照。色を定量的に表すことを目的として1931年、CIE(Comimition International del' Eclairage)により三刺激値による表記が提唱された。この定義により、X,Y,Zが等しい2種類の色は、人間の目には同じ色であるとさ

れる。図7参照。<sup>(14)</sup>色再現性は、各色(R,G,B)での階調再現性はもちろんのこと、イメージスキャナ自体の分光感度特性の2点に由来する。色差の指標 E の算出用の変数 Lab 値は、このXYZ値から計算により求められる。<sup>(14)</sup>

イメージスキャナの分光特性は、次の要因からなる。1)光源の分光発光特性。2)原稿台ガラス、反射ミラー、結像系等の分光透過率、分光反射率。3)色分解光学部品(干渉フィルタ、色フィルタ)の分光透過率。4)センサの分光感度特性。このうち、2)4)は可視域にて、比較的平坦な特性を有する。センサの分光感度を図8に示す。<sup>(14)</sup>3)の設計上の自由度は高い。従って、光源の分光発光特性が、総合的なカラーイメージスキャナの分光感度特性を決めると言っても過言ではない。

寸法：

光源の発光効率が低いと発生する不要な熱を排出するための空間(スキャナ本体内)や排気ファン等を必要とする。

消費電力：

Energy Star Program における目標値(案)は、A3スキャナにて待機時に52W以下。

それ以外のスキャナは待機時に12W以下。97年3月適用開始を目標に進められている。

[光源機能]

光量：

光源の明るさであり、上述したようにスキャナの取り込み速度を決める要因の1つ。スキャナ機能：取り込み速度の節参照のこと。

発光効率：

一般に全光束/投入電力、または光源のエネルギー効率(光エネルギー/投入電気エネルギー)で表す。イメージスキャナにおける光源の役割は、可視光での効率的な発光であるので、発光効率は高いほど良い。ただし、肉眼が最終受光部となることを想定した照明器具の発光効率の指標は、 $\lambda=550\text{nm}$  にピークを持つ「視感度分布」(図7のyで示したグラフ)を関数とした指標であり、センサの場合はあくまで可視光域全域においてほぼ平坦なエネルギー感度を有することを忘れてはならない。つまり、発光効率が高いからと言って、トンネルに用いるナトリウムランプでは、イメージスキャナの光源として、分光発光特性的に適当ではない。

分光発光特性：

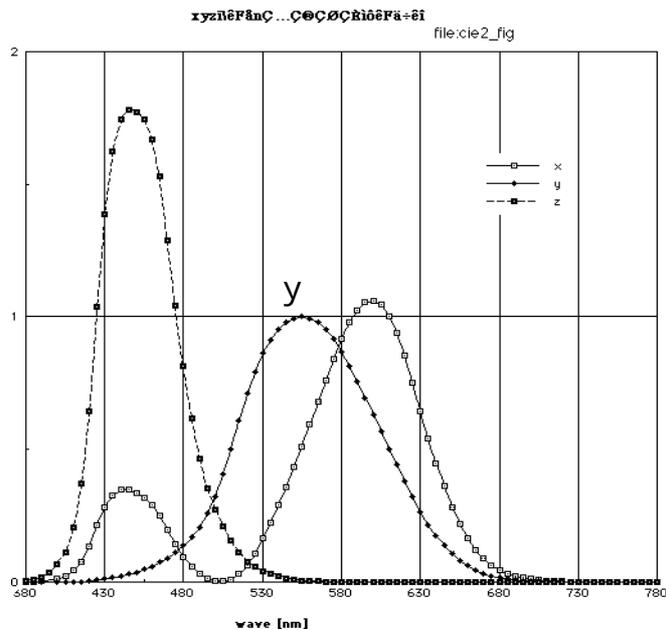


図7：CIEにより定義されたXYZ等色関数。<sup>(14)</sup>

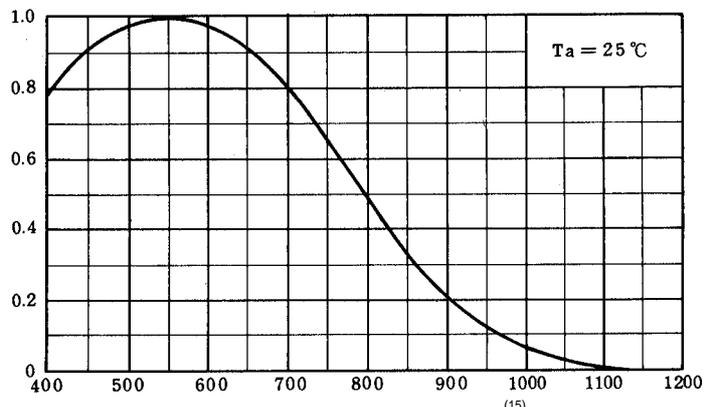


図8：CCDセンサの分光感度特性。<sup>(15)</sup>  
横軸[nm]、縦軸は相対感度。

カラーセンサの分光感度特性がいかに理想的であっても、原稿を照明する光源が分光発光特性として劣っているとカラーイメージスキャナの総合分光感度特性が劣化する。具体的には、可視光域全域において、特定波長が欠けていないこと。可視光域全域において、特有の輝線スペクトルを有しないこと。が理想である。スキャナ機能：色再現性の節参照のこと。

#### 光量安定性：

< 始動性 > ~ 光量安定までのウォームアップ時間。

イメージスキャナの電源投入時から使用可能となるまでの時間、主に電源投入から光源の光量が安定するまでの時間を言う。水銀ガスを紫外線発生手段に用いる蛍光灯は、水銀蒸気圧の温度依存特性に因り、光量安定まで数分から数10分の時間を要する。2.2.1.4節：現状光源の課題参照。3.3節：希ガス蛍光灯の図1参照。

< 点灯中の光安定性 >

点灯中に光源の光量が変動するとイメージスキャナの階調再現性に影響する。コンピュータとのインターフェースにおける転送速度が遅い場合、取り込みを行っている最中に自動的に取り込みを停止する機構をイメージスキャナは持っている。この停止期間における(最大30秒程度)光量変動が設計目標値よりも大きいと、明確な階調ズレが認められるという不具合が発生する。設計目標値は、8bit(=256階調)スキャナにおいて、0.4%(=1/255)である。

高周波なインバータ点灯による10kHz以上の脈動する光量変動は、CCDの光量積分時間(=1ライン当たりの取り込み時間)に対して充分無視できる周波数であれば問題無い。

< 色毎の光量変動 >

ここで、色毎の光量変動が無いことも重要である。R,G,Bの色色毎に光量変動が異なる場合には、色のバランスが崩れ、色カブリ(色再現不良)の発生原因となる。

#### 寸法：

< ランプ全長 > ~ 光量一様性

フラットベッド型のイメージスキャナにおいては、ランプの全長が本体の主走査方向の寸法を決める。ランプの全長は、原稿を均一に照明する機能(光量一様性)を確保するために、有効照射範囲を越えて十分に長いことが理想である。その結果、両端部にて光量低下を発生する要因をなるべく無くす努力が続けられている。これは、主に電極の構造の改良によって、改善がなされてきている。具体的には、ハロゲンランプ同様に、電極部にフィラメント構造を持つ「熱陰極(Hot Cathode)型」から、高い電圧にて点灯を行う「冷陰極(Cold Cathode)型」に改良することにより、数センチの短縮が実現した。第3.3.1節の図7、図4を参照のこと。更に、外面電極構造とすることにより、更に数センチの短縮が実現した。第3.3.2節の図を参照。

< ランプ直径、点灯回路寸法 >

ランプの管径はスキャナの寸法を考慮すると小さいほど良い、原稿の照射光量を考慮すると、取り込み位置へ光源を近づける程良い、と一般に考えられている。しかし、原稿に対してランプを近づけ過ぎると2次光源効果と呼ばれる現象が発生し、階調再現性が劣化したりゴーストの発生を招く。<sup>(16)</sup>また、イメージスキャナの小型化を狙って、取り込み動作において点灯回路を光源部分から分離し、移動させずに延長したコードによって点灯電力を光源部分に供給する方法が実施される。この際は、1kV以上の高周波印可電圧による放射ノイズの増加に留意を要する。

#### 寿命：(不点灯、輝度劣化)

情報機器における機械的動作の設計寿命は、10万回スキャン程度を目標としている。これから、ランプ寿命を逆算すると取り込み時間×10万回スキャンを最低限度保障する必要がある。電極の破損による不点灯が発生する時間は、熱陰極型の蛍光灯で、500時間程度で

あり、メンテナンス設計上は光源部分の交換機構が必要となる。冷陰極型では、1万時間以上の寿命を持つため、ランプ交換は不要である。更に、外部電極型では、原理的に電極の磨耗による寿命は無くなったと言える。ランプ全長の短縮と合わせランプ技術史上の快挙である。

(4) 現在の光源の課題

[水銀蛍光ランプ]

**発光原理:** 水銀ガスによるエレクトロルミネッセンス (electro-luminescence) + 蛍光体によるフォトルミネッセンス (photo-luminescence)。a) 放電 → b) 加速された電子による真空中の水銀ガスの「励起」 → c) 紫外線 (253.7nm) 発光 → d) 蛍光体励起 → e) 可視光の発光。補足: d) に使う蛍光体の種類を選択することにより、可視光の発光波長を選択する。

**長所:** 現存する光源では、メタルハライドランプについて水銀蛍光ランプが最も発光効率が高い。フィルムスキャナにおいては、十分な光量を確保できることにより拡散光照明が実現できる。また、連続光を発する蛍光体を選択できる。

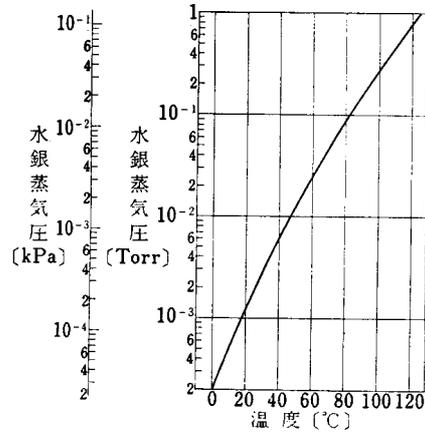
**短所:** 水銀蛍光ランプは、常温では液相の水銀を用いるため、紫外線光量の温度依存性が非常に大きい。図9、図10参照。水銀ガス自体の発光(水銀輝線スペクトル)が可視域に存在する。図11参照。

[ハロゲンランプ]

**発光原理:** タングステンフィラメントを通电加熱することによる黒体輻射発光。2700 ~ 3000K。

**長所:** 連続光である。始動性は良好で数百ミリ秒程度。

**短所:** 光エネルギーバランズは、青、緑、赤の順に強くなり赤外線域に最大強度の波長を持つ。分光発光特性としてblueの成分がRed成分に対して非常に低いため、ネガフィルムなどの取り込みに対しては取り込み速度が非常に遅くなる。ピーク波長は、赤外線域のためCCDと組み合わせる場合、赤外カットフィルタ等が必要である。点光源のハロゲンランプを線状光源として使うには、点 → 線変換光学部品が必要。<sup>(20)</sup> 高速な複写機に使われるライン状ハロゲンランプは、発光効率が低い(20 lm/W 以下)、振動に弱い、寿命が短い、排熱設計が複雑である等の理由で、イメージスキャナ用光源としては敬遠される。画像ファイリングシステム専用機など、高速な取り込み速度が要求される高級機に使われている。



第3.33図  
水銀の温度と飽和蒸気圧

図9: 水銀蒸気圧の温度依存性。<sup>(17)</sup>  
希ガス蛍光ランプ

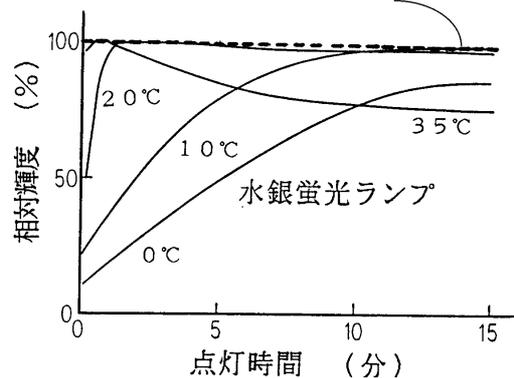


図10: 水銀蛍光ランプの点灯後の光量変動。<sup>(18)</sup>

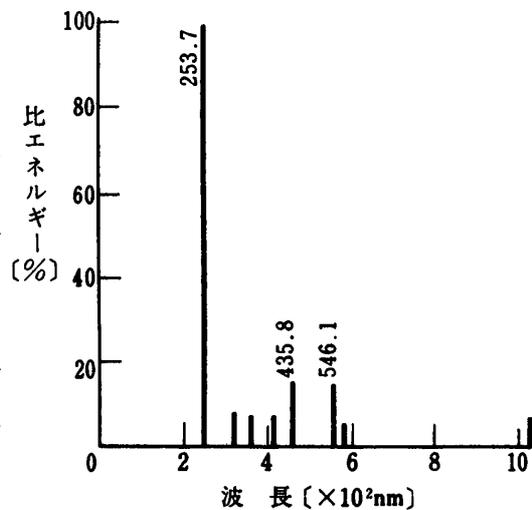


図11: 可視光域中の水銀輝線スペクトル。<sup>(19)</sup>

### [キセノン蛍光ランプ]

**発光原理**：水銀蛍光ランプと同質。キセノンガスによる励起紫外線の波長は、 $\lambda = 147 \text{ nm}$ 。水銀蛍光ランプの水銀をキセノンやネオン等の希ガスに入れ替えることにより、水銀蛍光ランプの欠点であった温度依存性を大幅に取り除くことが可能となった。3.3節、文献(1)参照。

**長所**：キセノン蛍光ランプは、常温では気相なため、紫外線光量の温度依存性が無い。

可視光域中の輝線スペクトルが無く、蛍光体のみで発光スペクトルが決まる。**短所**：発光効率が低い。赤外線域に強いスペクトルが有り赤外カットフィルタが必要。

1996年に商品化されたプラズマディスプレイ（壁掛けカラーTV）の発光原理は、このキセノン蛍光ランプと同様である。業界の知恵が結集することにより、キセノン蛍光ランプの発光効率の向上（有効紫外線の発光効率向上、キセノン紫外線による励起効率の高い蛍光体の開発）を期待したい。

### [LED]

**発光原理**：エレクトロルミネッセンスによる発光。窒化炭素（CN）系の開発により実質的に可視光全域に対して実用的な光量に達した。3.5節参照。今後、LEDフルカラーディスプレイや信号機などに応用が拡大され、量産による低価格化と機能向上が期待される。

**長所**：小型。定電圧(数ボルト)駆動可能。応答性良好。窒化炭素(CN)は、2元系の直接遷移による発光方式なため、光量の温度依存性が非常に低く優れた発光素子である。

**短所**：発光効率が低い。実用的な光量とするために素子数が増加し、高価となる。少ない数のLEDの照明光を光学部品（凹面ミラー）を用いて集光し、平行光照明方式とすることにより照明効率を上げフィルムスキャナに採用された。しかし、通常フィルム表面には乾燥時に無数の $10 \mu \text{ m}$ 前後の凹凸が作られる。平行光照明方式は、拡散光照明方式と比較すると、フィルム上のキズやフィルム表面の凹凸に敏感となる欠点を持つ。

Red用の照明光として使われているガリウム・ヒ素・アルミニウム（GaAsAl）は3元系の間接遷移による発光方式のため、光量の温度依存性が大きく冷却が非常に重要となる。また、主発光波長は $660 \text{ nm}$ と赤外域に近いと、分光設計上問題がある。

## (5) こんな光源が欲しい

以上、まとめとして、20世紀中での量産を目標とした光源の仕様を記してみたい。(^^)

#### イメージスキャナ用光源の仕様

光量：水銀蛍光ランプ以上の光量

発光効率：水銀蛍光ランプ並みの発光効率

光量安定性：ハロゲンランプ以上の始動性と点灯中の光安定性

分光特性：連続スペクトル

1) 可視光域全域において、特定波長が欠けていないこと。

2) 可視光域全域において、特有の輝線スペクトルを有しないこと。

## 参考文献

- (1) 応用物理学会光学懇話会編,「色の性質と技術」,朝倉書店,1986,pp6
- (2) The Agfa Guide to Digital Color Prepress
- (3) dos/V Magazine,1995-12.15,pp245
- (4) 玄光社,SuperDesign vol.10,pp68
- (5) Super Designning,vol.9 16
- (6) JAGAT(日本印刷技術協会),1995 コンピュータ to プレートデジタルプリンティング
- (7) イリイチ(IVAN ILLICH)脱学校の社会(DESCHOOLING SOCIETY)東京創元社[1970]
- (8) 松下ら、カラーイメージスキャナ設計技術、トリケップス,pp31
- (9) 一ノ瀬,照明学会シンポジウム,96.2.24
- (10) 特許,特願平 4-155082
- (11) 応用物理学会光学懇話会編,「色の性質と技術」,朝倉書店,1986,pp88
- (12) 久保田、光学技術ハンドブック、朝倉書店、1990
- (13) 応用物理学会光学懇話会編,「色の性質と技術」,朝倉書店,1986,pp53
- (14) JISハンドブック 色彩,JISZ 8701-1982,
- (15) 東芝 CCD リニアイメージセンサー資料、1990
- (16) 特許,特開平 1-155766
- (17) オーム社,照明工学,1986,pp78
- (18) 照明学会研究会資料,MD-91-5
- (19) オーム社,照明工学,1986,pp103
- (20) 特許,特開昭 60-118806

## 他、参考資料

### <スキャナ関連>

映像情報、Vol.19,1987/7

<http://www.valley.or.jp/ichinose/index.html>

### <分光設計>

日本色彩学会編,色彩科学ハンドブック、東大出版会,1985

佐柳ら、色彩再現の基礎と応用技術、トリケップス

若林、太田ら、カラーイメージスキャナにおける3色分解系の分光感度設計法、  
電子情報通信学会論文誌,1987/2 vol.J70-CNo.2,pp251-pp262

#この報告書の目的は、スキャナ設計者と光源設計者との間で技術概念を共有することにある。

具体的には、下記の通り。

1)光源の営業担当者が、イメージスキャナメーカーへ光源デバイスを売り込む際に参考となる基礎情報を提供すること。

2)光源の開発者が新規に光源を開発する際に、イメージスキャナ市場へ参入可能な光源としてどのような機能が必要か、という質問に答える。

また、何故そういった機能が必要となるのかをスキャナの機能と光源の機能を関連付けて技術的な解説を行う。

3) 最終的に何に使われているのか？という用途情報も詳細に提示する。

標記文字履歴

done970209/1014:置換：取り込み->取り込み

done970209/1305:置換：階調性->階調再現性

センサー -> センサ

# 発表の目的 講演会 940224\_日本照明学会

- . スキャナ用光源の研究課題を明確にして
- . 研究開発を促進する。
- . 産業界の資源を集中させる。

. スキャナ市場が魅力的であること。

投資に見合う「価値」がある。

価値：

市場規模の増大 --> 利益

生き残り、日本にランプ研究開発拠点を残す。

スキャナからみた光源機能の基礎的知識の伝達。

ランプ仕様の上位概念を理解することにより効率的な研究開発が行われる。

光源機能への要望。

光源担当者の視点で「どのような対策を取れば良いか」支援する。