

医用レーザーハードコピーシステム

Medical Laser Hard Copy System

小野耕治

感材生産本部
第2開発センター

丸山則治

感材生産本部
画像システム機器事業部
開発設計部



Abstract:

Recently, the demand for diagnostic hard copy has greatly increased. Laser imaging systems are taking the place of conventional imaging cameras in providing diagnostic hard copies for CT, MRI, DSA, and other such modalities because of high image quality.

In 1989, Konica developed a medical laser imaging system: the Li-10 laser imager and LP633 film which together provide high image quality.

This paper reports on the technical features of look-up tables and on the interfaces which connect the laser imager to a variety of diagnostic equipment of various signal formats. It also reports on laser imaging film technology which provides for quick scanning, high image quality, and physical reliability with 45-second processing capability.

Ono, Koji

Development Center Section No.2
Photographic Products
Manufacturing Headquarters

Maruyama, Noriharu

Design Department,
Imaging Systems Division
Photographic Products
Manufacturing Headquarters

1

開発の背景

近年CT,MRI(核磁気共鳴装置)等に代表される医用画像診断装置の出力画像信号のハードコピー手段としてレーザー光走査によるハードコピーシステム(レーザーイメージャー)の普及が始った。従来これらの主要画像診断装置のハードコピー装置においては、CRTマルチフォーマットカメラが主流だった。レーザーイメージャーはマルチフォーマットカメラのCRT撮像方式と比較し、階調の直線性及び空間周波数分解能の点で有利であり、またCRT撮像方式での蛍光体ノイズや、撮影時の幾何学的歪に相当する影響を受けず高画質化に適している。

現在は、装置出力画像信号として、ビデオ信号の装置毎に異なる型式を多く使用し、順次デジタル信号の直接出力方式へ移行が進んでいる。また、PACS(画像の管理保存と通信システム)関連としてACR-NEMA規格といった標準プロトコル確立の動きもある。

レーザーイメージャーは、14X17インチサイズ等の比較的大型サイズのフィルムを用い、1台のレーザーイメージャーに数種類のインターフェースを介し、複数の診断装置を接続して1枚のフィルム上に大きさが異なる種々の画像を複数記録できる。

本稿では、当社で開発したレーザー記録専用フィルムLP633,LP820及びレーザーイメージャーLi-10について解説を行なう。

2 医用画像ハードコピーの画質要件

医療における画像診断の割合は極めて高くこれらの多くは、写真フィルム上に記録された画像により診断される。医師はこれらの画像と、彼等の頭の中の正常像とを比較し、異常な変化を抽出する。この変化は、形態的变化や写真濃度の変化として現れるが、診断上は微妙な濃度変化が重要な意味をもっていることが多い。医用レーザーハードコピーシステムの特徴として、この濃度階調表現性をあげることができる。

レーザーイメージャーを多く使用するX線CTやMRIでは、8~12ビットの濃度階調を持った画素で記録を行なう。通常この階調変化はレーザーの光量をAOM素子(音響光学変調素子)や直接変調で変えることで行なう。レーザーイメージャーとフィルムからなる記録システムにおいては、レーザー光量の変調幅とフィルムのコントラストを最適に合わせることで、診断に適した画像を得る。フィルムのコントラストが高すぎる場合フィルムの感度やレーザー光量の変動の影響が大きくなり、安定性にかけるシステムとなるがAOMや直接変調の可変幅以上にフィルムのコントラストを下げることは無意味であるため両者

のバランスをとったシステムにしている (Fig.1)。

また、現在連続モードで安定な出力が得られ寿命も長く更に比較的小型で安価なレーザーとしてはHe-Neレーザーと半導体レーザーがあるが、いずれも大出力は望めない。同じ出力のレーザーを用いて階調のある画像を出そうとすると印刷における網点画像のようなON-OFF画像を作る場合よりも高感度なフィルムが必要になる。逆にON-OFF画像用と同程度の感度のフィルムを使うには、より高出力のレーザーが必要である。フィルムの感度を高くすると画質特に粒状性が悪化する為、この場合においてもシステムとしてレーザー光パワーとフィルム感度の間で最適化を計っている。

次に医用レーザーイメージャーとしては、迅速な診断の為に短時間で記録できることが望まれる。レーザーイメージャーの記録速度は、データ転送速度、フィルム搬送速度、書込速度等で決るが、書込速度に関してはレーザーの出力とフィルムの感度及びレーザー光走査系の速度に依存する。いずれも高い方が高速になるが、画質と安定性から設計されている。現像処理まで併せて考えると45秒自動現像機(例えばSRX-502)と直結することでより迅速に画像を手にする事の出来るシステムとなる。もちろんこの場合はフィルムに45秒処理適性がないといけない。

3

コニカレーザーイメージャーLi-10の基本仕様

Table 1に、コニカレーザーイメージャーLi-10本体の基本仕様を示す。また、複数の診断装置と接続する場合専用のストアユニットを使用する。Table 2にその仕様を示す。

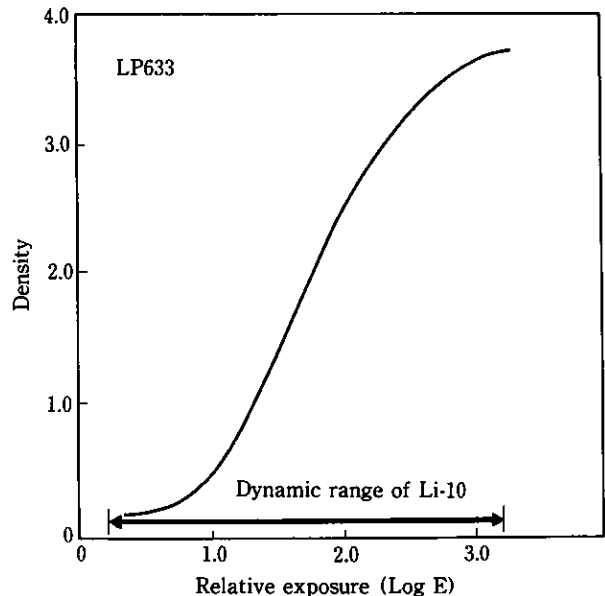


Fig. 1 Characteristic curve of LP633 and dynamic range of Li-10

Table 1 Konica Li-10 major specifications

Model name	Konica laser imager Li-10
Film type	LP633
Film sizes	11"×14", 14"×14", 14"×17"
Optics	He-Ne laser beam scanning
Standard image formats	1, 2, 4, 6, 9, 12
Cycle time	60 seconds total cycle time per sheet
Image area	4096×5120 pixels
Gray scale range	4096 levels
Image memory	Max. 32MB
Printing conditions	Density and contrast (15 settings each) 7 film type settings
Special functions	Pos/neg image Trim Replication (bi-linear interpolation) Clear/black film borders Up to 99 copies of the original Frame by frame memory deletion Random printing
Film magazines	Supply magazine Daylight package (50 sheets) Regular package (100 sheets) Receiving magazine (50 sheets)
On-line film processors	SRX-501, KX-500, KX-400, KX-250
Controls and indicators	Remote operator keypad standard
Power requirements	100VAC, 5A, 50/60Hz
Dimensions	700mm (W)×891mm (D)×1190mm (H)
Weight	276.5kg

Table 2 Storage unit specifications

Multi modalities	Up to 3 channels standard
Image memory	Max. 32MB each
Interface	Li-10 communication interface Video interface Specified digital interface
Dimensions	350mm (W)×600mm (D)×630mm (H)
Power requirements	100VAC, 2A, 50/60Hz

4 レーザーイメージャーの構成

Fig.2に本体内部の搬送経路を示す。露光済のフィルムは、自動現像機（以下、自現機と略す）と収納マガジンへの搬送とを選択して使用する。自現機は、当社の超迅速自現機が接続可能になっている。Fig.3に自現機等との接続例を示す。

制御系は、外部の診断装置から出力される画像の入力を行なう制御モジュール（以下入力モジュール）及び光学部と機構部を制御し画像データを光学部へ出力する制御モジュール（以下出力モジュール）との2つに分けて構成した。両者は通信ケーブルにより結ばれている。フォーマット選択で指定した数の画像が入力モジュールに入力終了すると、全画像データを、出力モジュールの画像メモリに転送しプリントする。入力モジュールの画像メモリは2ページ構成であり互に切換えて使用することで

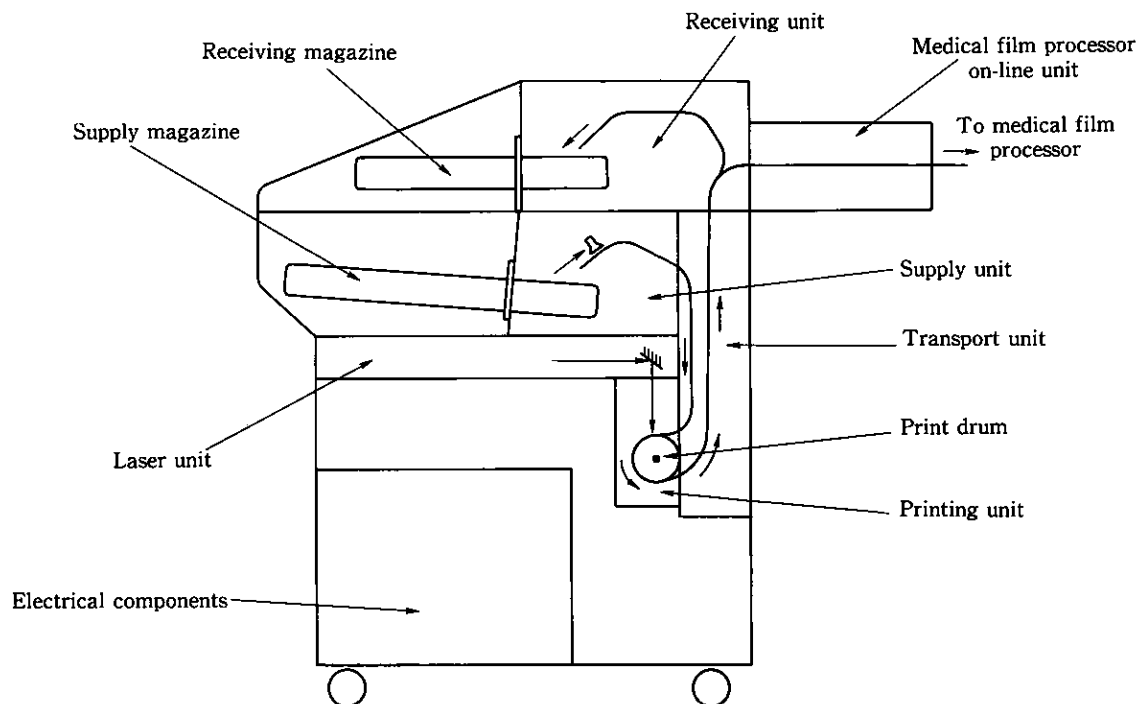


Fig.2 Schematic of Konica Li-10

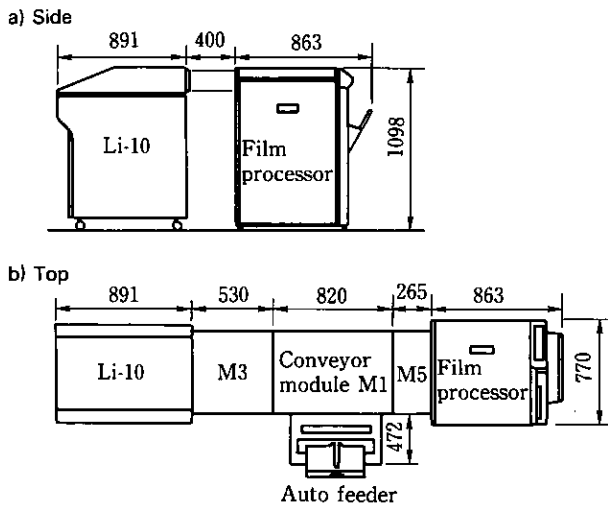


Fig. 3 Li-10 connection with a) Film processor
b) Daylight system

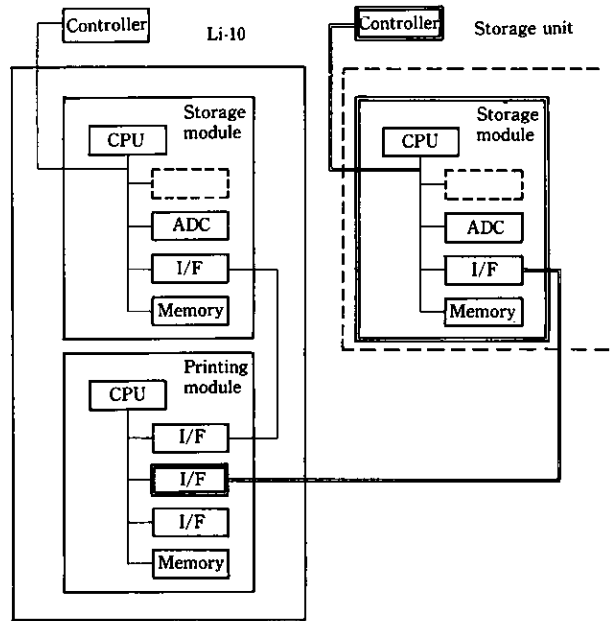


Fig. 4 System control

プリント時のユーザーの待ち時間を削減する。

本体と別置きのスストアユニットは、本体と同一の入力モジュールを複数収納可能にしたもので、これを使用し複数の診断装置を接続する場合の構成例をFig.4に示す。

出力モジュールの画像メモリ上の画像データは、アナログ信号に変換されAOMにより、光強度変調される。Fig.5は、今回使用した光学系の構成を示す。

操作は、診断装置のコンソールに置いたキーパッドから遠隔操作により行なうか、自動撮影と呼ぶ診断装置との通信により行なう場合もある。

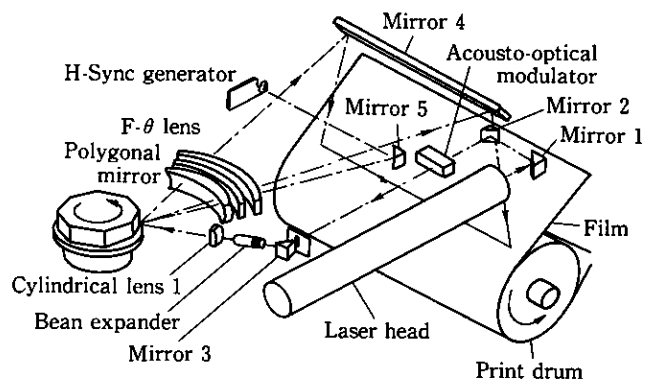


Fig. 5 Configuration of optical system

5

技術的特徴

5.1 ルックアップテーブル

入力画像データとフィルム上の濃度の関係は出力モジュール内のLUT (参照テーブル) が決定する。システムの起動時、リモートキーパッド上でLUT種別の選択を行なった場合、濃度、階調を変更した場合には、入力モジュールで、LUTの変換データを計算する。計算したテーブルの内容を、他のプリント条件と合せて1ページの画像データ出力モジュールにDMA転送する際ヘッダとして付加する。このようにプリント条件は、全て各入力モジュールが作成するので、複数の診断装置を接続した場合でも各入力モジュール間の相互関係を考慮する必要がなく、従ってチャンネルの増設も簡単に行なえる。

LUT変換データは、現場での評価の中から決定した基本形を基に、次の8種類のパラメータをユーティリティを用いて容易に変更できるようにした。

すなわち、(Fig.6参照、図中の番号は、下記番号に対応)

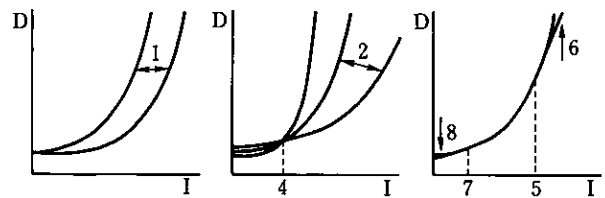


Fig. 6 LUT correction parameters

1. デンシテイ
2. コントラスト
3. リモートキーパッド上で設定できるデンシテイ、コントラストの各ステップ変化量
4. コントラスト変更で出力の変化しない入力データ上の位置
5. 高濃度部でコントラストを変化させる範囲

- 6.高濃度部でコントラストを変化させる大きさ
- 7.低濃度部でコントラストを変化させる範囲
- 8.低濃度部でコントラストを変化させる大きさである。

5.2 診断装置とのインターフェース

現在のところ、診断装置の画像出力信号としては、ビデオ信号を依然多く使用し漸次デジタル信号へと移行している段階である。ビデオソースフォーマットは、装置間で統一されておらず、レーザーイメージャーの接続にあたっては、異なる信号形式に対して柔軟に対応しかつ高精度で画像の取込を行なうことが技術的課題となった。

Fig.7は、今回Li-10で使用されている入力制御ユニット内のA/D変換部のブロック図を示す。このA/D変換部の特徴としては、

- 1) サンプリングを、40MHzまでの速度で行なうビデオ帯域用のA/Dコンバータである。
- 2) 接続装置からサンプリング用ドットクロックを外部入力できない場合にはA/D変換部内部でドットクロックを発生する。内部ドットクロックは4MHz~40MHzまで広い範囲で可変可能である。
- 3) 装置と接続条件に応じノイズや電圧変動を考慮してDC結合、AC結合、DC差動、AC差動入力を選択できる。
- 4) ビデオ信号のゲイン調整、オフセット調整は、専用のユーティリティを使用することで短時間のうちに調整できる。
- 5) 個別の信号型式に対しては、プログラムの定数テーブルを準備することにより容易に対応できる。

Table 3に信号型式の設定例を示す。

特に、内部ドットクロックの発生はVCO（電圧制御発振器）を使用して行ない、発振の安定化はPLL（位相同期ループ）制御により行なう。基準周波数としてソース信号から同期分離した水平同期信号を用いる場合、ドットクロックとの周波数比が1:1000に及び発振の精度に問題

がある。そこでFig.7に示すように、2段のPLL制御を用いてこの問題を解決した。VCO1は、14MHz±3%で発振周波数範囲が狭いが安定度は、比較的良い。VCO2は、12.5MHz~40MHzで周波数範囲が広くとれるが安定度は、VCO1に較べて悪い。VCO2の出力は、それぞれのプログラマブルカウンタにより分周され位相比較器1および位相比較器2に帰還される。このように、水平同期周波数よりも周波数の高い中間の発振器を設け2段階でのPLL制御により同期ずれ1nsec以下でかつ広い周波数範囲で画像のサンプリングが可能となった。入力画像は、プリント時、通常数倍に拡大して出力するので画像取込時の位相同期精度は、画質に比較的大きな影響を与える。

PACSにおけるデジタルインターフェースの標準として

Table 3 Example of source signal format implementation
if SYGTYP eq TOSMI

```

:: TOSHIBA MRI
INTERLACE equ NO
CHTD equ 816 ; 水平1Hドット数
CHSD equ 80 ; 水平同期ドット数
CHBPD equ 52 ; 水平バックポーチドット数
CHDD equ 640 ; 水平表示ドット数
CHFPD equ CHTD-CHSD-CHBPD-CHDD
; =28 水平フロントポーチドット数
CVTL equ 562 ; 垂直ライン数
CVSL equ 5 ; 垂直同期ライン数
CVBPL equ 23 ; 垂直バックポーチ数
CVDLN equ 512 ; 垂直表示ライン数
;
; DT=36 nano sec.
; hlintm=HTD/2(bite=>word) *2 micro sec=
; 816 micro sec.
; lhtime=HTD*DT=29.38 micro sec.
; hlintm(816 micro sec)/lhtime(28.98 micro sec)=
; 27.777
; VLSN=28
CVLSN equ 36 ; 垂直ライン・スキップ数
; dummt data (for piflib. asm)
DUMDNM equ 10*13
endif

```

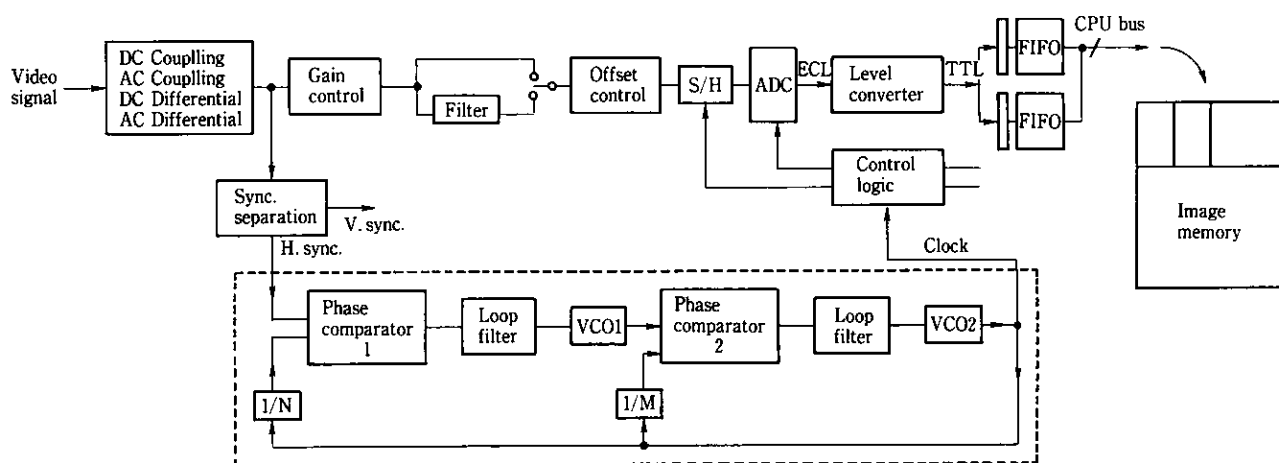


Fig.7 Block diagram of A/D converter

米国放射線協会と全米電気製造業者連盟が共同開発した標準、ACR/NEMAスタンダードNo.300-1985,デジタル画像化と通信がある。これは、1部の例外を除いてISOの開放システム接続(ISO/OSI)における標準プロトコルを含んでいる。デジタルインターフェースの普及を伴いこのようなインターフェース標準化の動きが進んでくると予想される。

5.3 レーザーイメージャー用フィルム

コニカのレーザーイメージャー用フィルムは、He-Neレーザー用としてLP633,半導体レーザー用としてLP820がありいずれも45秒処理可能である。

Fig.8にフィルムの構造を示す。レーザーイメージャー用フィルムは、厚さ180 μ のポリエステルベース(青色あるいは無色)の片面に感光性乳剤と保護層を持ち裏面には、ハレーション防止染料を含んだ保護層を持つ片面フィルム構造をしている。

レーザーイメージャー用フィルムが必要とする特性としては、まずレーザーの発振波長に合った分光感度を有することが挙げられる。即ちHe-Neレーザー光の場合には赤色光領域に、半導体レーザー光の場合には近赤外光領域に感度を持たせる必要がある。ハロゲン化銀は、紫外線や青色光などの短波長光には感光するが、赤色光や近赤外光には、実質的に感光しない。これらの長波長光に感光させるためには、分光増感色素をハロゲン化銀に吸着させ、分光増感色素の光吸収により得たエネルギーをハロゲン化銀に伝達させるという方法をとる。分光増感色素としては、シアニン、メロシアニン等の化合物が使われるが、これらは、ハロゲン化銀結晶表面で様々な吸着状態をとり、色素分子の凝集により光吸収に相違を生ずる。凝集体と呼ばれるものは、比較的狭い波長領域に強い光吸収を持つ為、分光増感には、有効である。我々は、レーザーの発振波長にあった高い分光感度を持たせ、しかも、現像処理後のフィルムへの残留が少ない色素を見つけ出し、さらにその色素を効率的にハロゲン化銀に吸着させる方法を開発した。Fig.9,10にLP633とLP820のスペクトル感度を示した。

次の特性としては、高速走査記録性が挙げられる。レーザーイメージャーにおいては、14X17インチサイズフィルムに対し、約10秒で書き込みが行なわれる。画素数(約4000 \times 5000)で割ってやると、1画面あたりほぼ 10^{-6} 秒の露光時間となる。このような短時間高照度の露光においては、ハロゲン化銀結晶中に発生した光電子が多くの場所に分散してトラップされるために、潜像形成の効率が低下する。この現象は、高照度不軌と呼ばれるが、ハロゲン化銀粒子の大きさ、感度、感色性などには、依存せず、ハロゲン組成や化学熟成方法により変化することが知られている。レーザーイメージャー用フィルムに使われるハロゲン化銀乳剤は、短時間高照度露光に対し高感度となるように設計された粒子と化学熟成方法によって作られている。すなわち、ハロゲン化銀としては、通常の直接撮影用フィルムに比較し、低AgIモル%の沃臭化銀

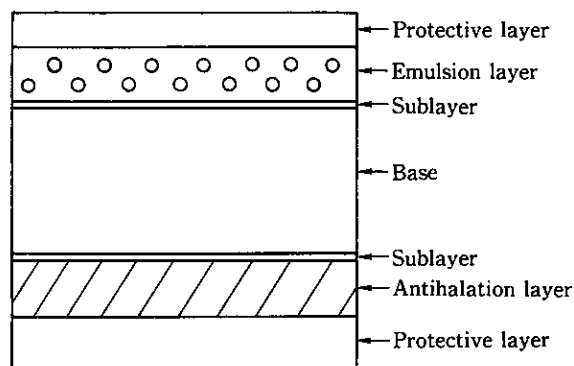


Fig. 8 Layer structure of laser imaging film

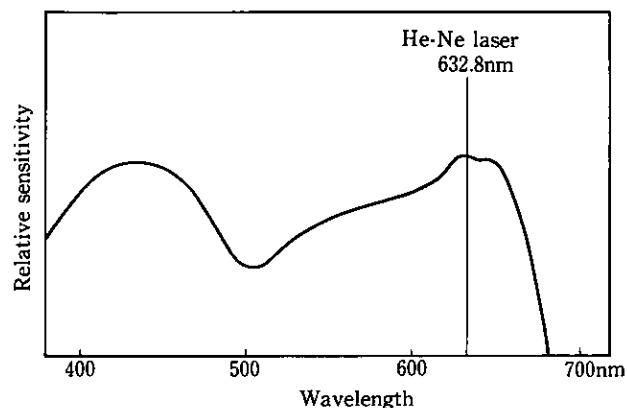


Fig. 9 Spectral sensitivity of LP633

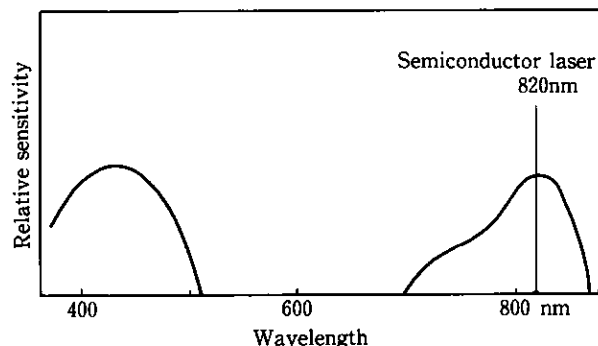


Fig. 10 Spectral sensitivity of LP820

Table 4 Types of film

Type	Laser	Base tint	Contrast	45-Second processing
LP633	He-Ne	Blue	Standard	Capable
LP633C	He-Ne	Clear	Standard	Capable
LP820	Semiconductor	Blue	High	Capable
LP820C	Semiconductor	Clear	High	Capable

であり、化学熟成においては、硫黄増感剤量が比較的多い金硫黄増感法も使用した。

機器搬送性も重要な特徴である。フィルムは、通常サブライマガジンより吸盤で1枚ずつ取り出され、ゴムローラーや金属ローラーで露光位置まで搬送され、ドラム上あるいは、フラットのままでレーザー光露光された後再びローラーでレシーブマガジンに、あるいは、自現機直結の場合はドッキングユニットを経て自現機に搬送される。フィルムの搬送性には、まず、1枚ずつ確実に送ら

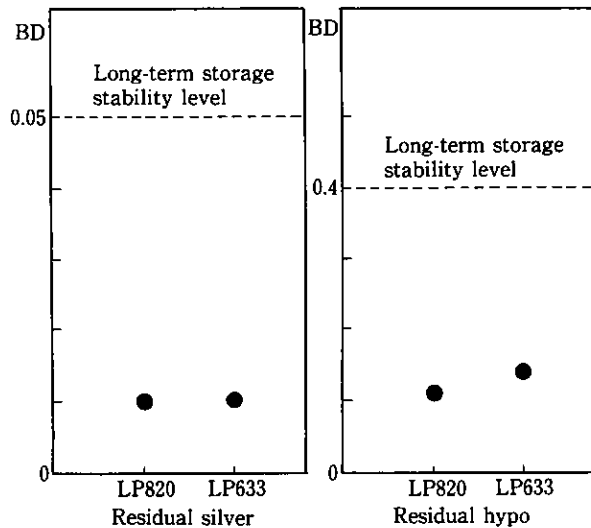


Fig. 11 Residual silver and residual hypo of LP633 and LP820 in 45-second system (XD-SR at 35°C and XF-SR in SRX-501)

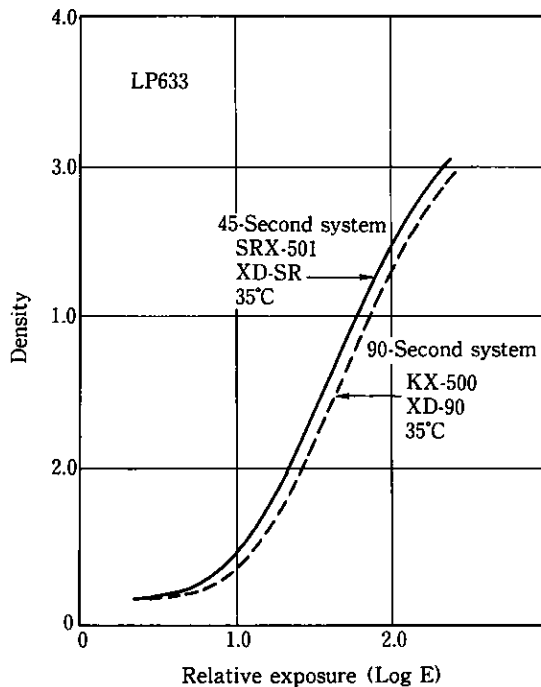


Fig. 12 Characteristic curves of LP633 in a 45-second system and a 90-second system

れるよう、フィルム同士がくっつかないように加工が必要である。またスリップ防止の為に適切な表面摩擦抵抗を持たせており、フィルムのカーソリングによるトラブルを防ぐ為には、感光乳剤面側と裏面側とのバインダー量や吸湿量のバランスを取り、広い湿度範囲でカールを起こしにくくしている。さらに帯電による搬送トラブル防止の為帯電防止加工が両面に為されている。

更にコニカレーザーイージャー用フィルムは45秒処理適正を有している。処理時間を短縮するには、現像性、定着性、水洗性、乾燥性のそれぞれを向上させなければならない。まず、バインダー量を出来る限り減らすことで現像性、定着性、水洗性を上げながら、硬膜度を上げることで処理液中の膨潤を押さえて自現機乾燥部に持たれる水分量を減らすことにより乾燥性の向上をした。ハロゲン化銀を微粒子高感度にする事で低銀量化できたことも、処理時間短縮に大きく寄与した。自現機処理後のフィルムに残存する銀イオン及びチオ硫酸イオンの量は、フィルムの長期保存性を示すパラメーターであるが、LP633, LP820共に低い値であり、45秒処理においても定着及び水洗が十分に行なわれていることを示している。(Fig.11参照)

Fig.12,13には、LP633及びLP82.の90秒処理と45秒処理でも特性曲線を示した。He-Neレーザー用のLP633は、半導体レーザー用のLP820に較べコントラストが低いが、それぞれのシステムの違いである。また、処理時間での特性曲線の差を見ると、LP820は、差はほとんど無く、LP633においても僅かな感度差のみであることがわかる。

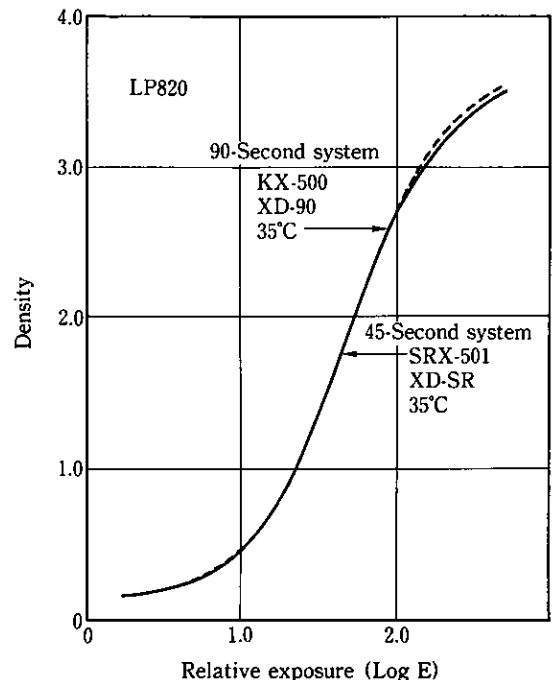


Fig. 13 Characteristic curves of LP820 in a 45-second system and a 90-second system

6

むすび

医用レーザーハードコピーシステムについて、

1) レーザーイメージャー用フィルムLP633, LP820を開発した。

2) コニカレーザーイメージャーLi-10を開発した。

医療分野において、ハードコピーの普及は、画像診断装置の多様化と総合画像診断の普及により、今後ますます増加していくものと考えられる。レーザーイメージャ

ーは、ハードコピーシステムとして高品質、高画質で使い易いがゆえに新設の診断装置への接続はもちろん、従来のCRTイメージングカメラからの置き換えが進んでいくであろう。

そのときシステムとしては、より高速なもの、安価なもの、マルチモダリティ対応やマルチサイズコピー等のより使いやすいものと様々な発展をしていくであろう。

我々は、今後もニーズにあったシステムの開発を続けていきたいと考える。