

# 医用画像用ドライレーザーイメージャーシステムFM-DP Lの開発

小川 正春\* , 名波 昌治\* , 岡田 宏一\* , 小島 徹也\* ,  
岡村 寿\*\* , 大関 智之\*\* , 平野 茂夫\*\*

## FM-DP L Dry Imager

Masaharu OGAWA\* , Shoji NANAMI\* , Kouichi OKADA\* , Tetsuya KOJIMA\* ,  
Hisashi OKAMURA\*\* , Tomoyuki OHZEKI\*\* and Shigeo HIRANO\*\*

### Abstract

The Fuji FM-DP L is a new medical hard copy output system, using no wet chemical and realizing a high throughput. To make high-speed printing possible together with high quality, a laser exposure to Fuji Film's original dry imaging film DI-AL and a newly developed thermal development unit are employed. This type of film which is based on a photothermographic imaging mechanism contains the silver salt of an organic acid as the source of image forming silver, and can develop high quality and stable images owing to the improvement of image sharpness and image archivality. The heating part of the thermal development apparatus consists of a heating plate and drive rollers. This structure enables a rapid and highly uniform heating contributing to the formation of extremely high quality images substantially free from non-uniform development. A new interpolation method named Advanced Variable Response Spline (A-VR) is introduced in the image processing software, which controls image sharpness over an extremely wide range and which has a broad connectivity to virtually all computed radiographic systems.

## 1. はじめに

当社は、1981年6月にベルギーのブリュッセルで開催された国際放射線学会(ICR)においてFCRを発表し、1983年に第一世代機となるFCR101を発売した。これはX線画像用レーザーイメージャーの世界初登場でもあった。引き続き、1988年には、CT、MRIなどの多様化するデジタル画像情報に対応する高品位レーザーイメージャーFL-IMシリーズを発売し、1994年には、さらに高画質化、高速化を達成した高機能機種としてFL-IM Dを発売した。

一方、1996年から始まった現像廃液の海洋投棄禁止をはじめ、自然環境の保全の気運の高まりとともに、ウエット処理からドライ処理へのニーズの高まりが顕著となってきた。こうしたニーズに対応し、1997年に当社は独自のマイクロアイソレーション技術(MI技術)を使った、完全ドライのダイレクトサーマルヘッド記録方式ドライレーザーシステムFM-DPシリーズを発売した。



Photo 1 FM-DP L

本誌投稿論文(受理1999年9月30日)

\* 富士写真フイルム(株)宮台技術開発センター  
〒258-8538 神奈川県足柄上郡開成町宮台798

\* Miyanodai Technology Development Center  
Fuji Photo Film Co., Ltd.  
Kaisei-machi Ashigarakami-gun, Kanagawa  
258-8538, Japan

\*\* 富士写真フイルム(株)足柄研究所  
〒250-0193 神奈川県南足柄市中沼210

\*\* Ashigara Research Laboratories  
Fuji Photo Film Co., Ltd.  
Minamiashigara, Kanagawa 250-0193, Japan

FM-DP シリーズは、環境にやさしく、取り扱いが簡単な、高画質の医用画像用ドライイメージャーであるが、デジタル画像診断の拡大とともに、処理能力の点で一段の向上が求められていた。

そこで高速・大量処理を可能にするために、レーザー露光熱現像方式を採用した新しい医用画像用ドライレーザーイメージャーシステム FM-DP L (以下、ドライレーザーイメージャー FM-DP L、または、単にドライレーザーイメージャーと略す)を開発した。

本稿ではドライレーザーイメージャー FM-DP L の概要を述べる。

## 2. 特長

- ・高画質で処理安定性の良い新規開発のレーザー露光熱現像ドライイメージングフィルム DI-AL の開発
- ・新規高画質化画像処理 (A-VR) の開発
- ・当社独自のヒートプレート / ローラー方式の熱現像技術の開発
- ・FL-IMD で培った高画質高速記録技術を改良し適用などによって、高画質で、高速 (世界最高速) 処理可能なドライイメージャーを実現している。

Table 1 に仕様概要を示す。

Table 1 Specifications

項目	仕様
方式	レーザー露光熱現像方式ドライプリンター
記録画素サイズ	50 $\mu\text{m}$ (倍密度画像記録時) / 100 $\mu\text{m}$ (通常密度画像記録時)
濃度分解能	10ビット
濃度階調	Dmax2.64階調とDmax3.0階調を入力チャンネル毎に設定可能
フィルムサイズ	B4(150枚/P)、半切(100枚/P)、より選択
処理能力	半切: 約130枚/時
インタフェース	最大3チャンネル
画像処理	補間処理(旧補間、A-VR)、階調処理(BAR方式、SAR方式)
濃度補正	自動濃度補正機能を搭載
電源	AC100V
外形寸法	約(W)800 x (D)700 x (H)1,310mm

以下にドライレーザーイメージャー FM-DP L の特長を示す。

- (1) 環境にやさしい
  - ・廃液がない、気になる臭気がない
- (2) 取り扱いが簡単
  - ・日常メンテナンスが少ない
  - ・フィルムの交換が明室ででき、容易
  - ・現像処理液、廃液の取り扱いが不要
- (3) 設置工事が不要
  - ・給排水工事が不要
  - ・AC100V 電源で使用できる
- (4) 高処理能力
  - ・半切 約130枚/時
- (5) 高画質
  - ・シャープネスを広範囲にコントロールできる
  - ・ピクセルサイズ最小50  $\mu\text{m}$  の高解像
  - ・高画質、高階調
  - ・自動濃度補正機能をもつ
- (6) 高機能
  - ・2フィルムサプライ(オプション)

## 3. レーザー露光熱現像ドライイメージングフィルムの開発

### 3.1 フィルムの層構成

レーザー露光熱現像ドライイメージングフィルム DI-AL (以下、ドライフィルムまたは、単にフィルムと略す) は Fig. 1 に示したように、表面側は保護層、中間層、写真乳剤層の3層構成、裏面側は AH 層、保護層の2層構成をとり、高画質、高速熱現像適性、無廃液、画像形成過程での無廃材の特長を実現している。

写真乳剤層には、光センサーとなるハロゲン化銀乳剤のほか、非感光性有機銀塩、現像薬(還元剤)、その他の画像を形成するための物質(銀イオン輸送剤)、さらには形成された画像を安定化するための物質(有機ハロゲン化合物)などが含まれ、画像を形成する中枢となっている。

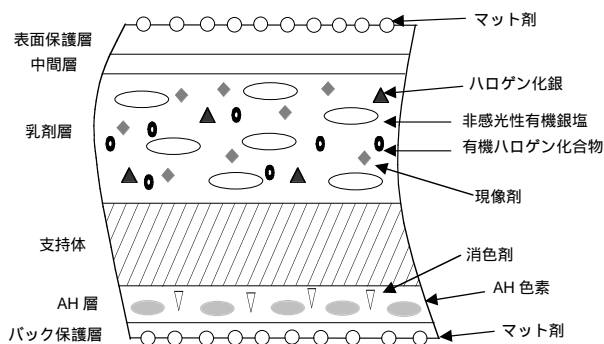


Fig. 1 Layer structure of DI-AL

表面側の保護層、中間層にはマット剤のほか、現像反応を補助する化合物が含まれており、画像形成層の耐傷性、耐接着性などの物理特性を向上させるとともに、現像反応にも寄与している。

裏面側の AH 層にはアンチハレーション (AH と略す) 色素が含まれ、画像の鮮鋭度の向上に一役果たしている。この AH 色素は露光の際に必要なが、画像を形成した後にそのまま残っていると診断時に邪魔になることから、熱現像時に消色されるように工夫されている。

裏面側の保護層は表面側の保護層と同様、写真材料の物理特性を向上させている。

### 3.2 画像形成原理

はじめに従来のウェット処理方式による銀塩写真材料の画像形成原理を模式的に Fig. 2 に示す。従来のウェット処理方式の銀塩写真材料では光によりハロゲン化銀 ( $\text{AgX}$ ) の一部が潜像 ( $\text{Ag}^0$ ) となる。現像処理過程ではこの潜像が触媒となって、露光された部分でハロゲン化銀の銀イオンが銀像に変換される。その後、定着処理過程では銀像に変換されなかったハロゲン化銀が定着液に溶解されて洗い流される。したがって、フィルム中には露光部の銀画像のみが残り、未露光のハロゲン化銀は残っていない。

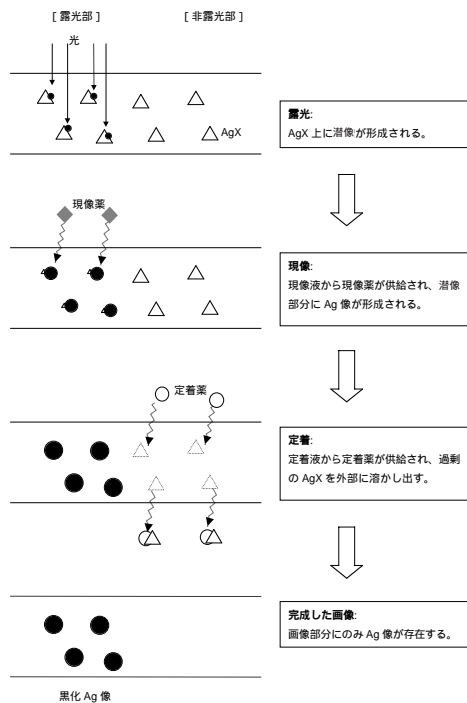


Fig. 2 Schematic diagram of imaging process of conventional wet system

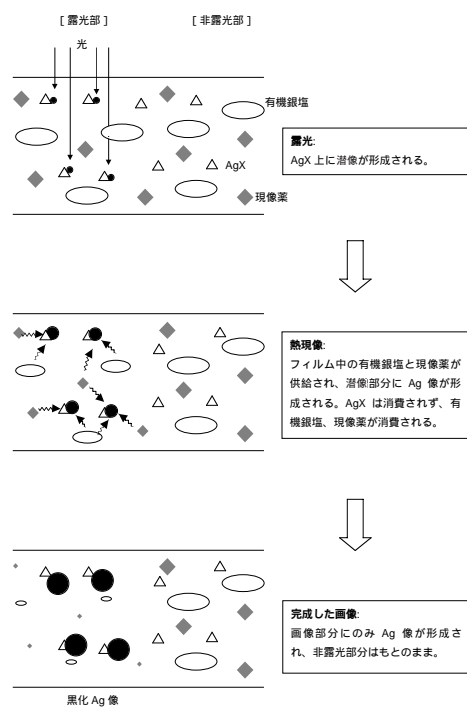


Fig. 3 Schematic diagram of imaging process of DI-AL

本ドライフィルムの画像形成原理を模式的に Fig. 3 に示す。660nm のレーザー光で露光されたハロゲン化銀粒子が潜像 ( $Ag^0$ ) を形成する。この部分は従来の銀塩写真材料と同様である。続く熱現像過程では露光された部分の潜像が触媒となり、共存する非感光性の有機銀塩の銀イオンが銀像となる。従来のウェットフィルムでは、ハロゲン化銀から銀イオンが供給されて銀像ができたのに対し、本ドライフィルムでは非感光性の有

機銀塩から銀イオンが供給されることが大きく異なっている。熱現像過程により銀像が形成された後、常温まで冷却されることによって現像反応が停止する。露光部分では銀像とハロゲン化銀が存在し、未露光部分では有機銀塩とハロゲン化銀が残存しており、現像過程の後には特別な定着過程が設けられていないことから、記録材料から除去される物質がなく、廃液、廃材を出さない。

本ドライフィルムの現像機構をさらに詳しく述べる (Fig. 4)。熱により現像剤 (還元剤: ビスフェノール類) が熱溶解により拡散する。一方、有機酸銀塩からは、熱により銀輸送物質 (フタラジン類, フタル酸類) と銀イオン錯体を形成して熱拡散する。そして、感光したハロゲン化銀結晶の表面に形成された潜像 ( $Ag^0$ ) において、潜像を触媒として銀イオンの還元が生じる。銀イオン輸送剤は繰返し使用され、還元剤と有機酸銀塩は消費されると考えられる。

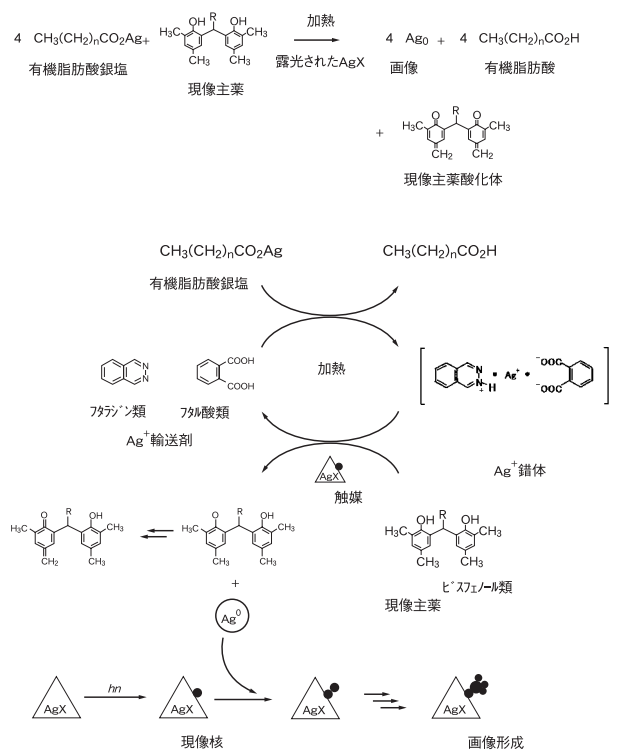


Fig. 4 Presumed mechanism of thermal development of DI-AL

### 3.3 高画質化技術

本ドライフィルムは、従来の写真フィルムと同様に、精密同時重層塗布技術を用いて塗布し、高画質で安定な性能を実現している。以下に本ドライフィルムで実現された高画質化技術について述べる。Photo 2 に電子顕微鏡で見たドライフィルムの断面を示す。

#### 3.3.1 超微粒子ハロゲン化銀の開発

レーザー熱現像方式のドライフィルムでは、一般に最大濃度を得ようとするとき、光センサー機能を持つ物質であるハロゲン化銀の数をその濃度に相当する分だけ

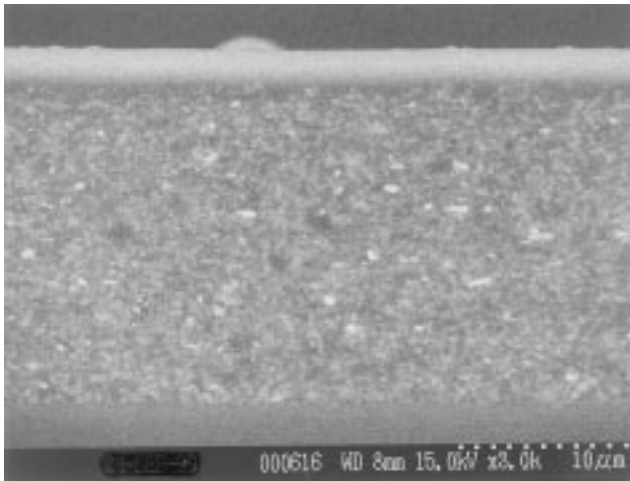


Photo 2 Cross sectional SEM of DI-AL emulsion

け内包させる必要がある。しかし、銀量が多いとカブリが増えると同時に保存性が悪くなり、画像形成後に光によりプリントアウトしてカブリの増大が生じるという問題がある。銀量を減らすには銀を微粒子化すればよいが、安定して作るのが難しくなり、かつ感度が低下する。また、一般に熱現像感光材料においてはハロゲン化銀形成法としては有機酸銀塩にハロゲン化剤を作用させて形成させることが知られているが、この方法では問題が解決しない。本ドライフィルムにおいては、従来の写真材料で使われる精密に制御したAg/ハロゲン添加方式による新規なハロゲン化銀粒子形成法を開発した。また、ハロゲン化銀粒子の化学増感法として新規なカルコゲン増感剤を開発し、新規な分光増感剤技術を導入することによって感度を下げることなくハロゲン化銀を超微粒子化することに成功した。その結果、必要な銀量を減らして低いカブリと保存性の向上と画像安定性を実現している。Photo 3に示されるものがハロゲン化銀結晶であり、通常の銀塩写真フィルムに用いられるハロゲン化銀乳剤(約200nm)に比べ、粒径が約50nmときわめて微粒子である。

### 3.3.2 非感光性有機酸銀塩の均質分散技術

非感光性の有機酸銀塩は銀像を作るための銀イオン供給源である。本ドライフィルムにおいては有機酸銀塩として長鎖脂肪酸銀塩結晶を使用している。長鎖脂肪酸をNaOHによりNa塩化し、硝酸銀により銀塩化することで結晶を得ている。この銀イオン供給源は単分散で微細であるほど、熱現像時の利用効率が高く、熱現像の進行性に優れる。

また、長鎖脂肪酸銀塩結晶は形成法によっては、結晶が不完全であったり、結晶内または表面に意図せず酸化銀などのカブリ核を生じやすく、カブリの濃度を上げてしまい、さらにひどい場合は、光を当てなくても熱現像部で濃度が出てしまうという問題が起こる。そこで本ドライフィルムにおいては、新規に長鎖脂肪酸銀塩結晶の形成法を開発し、制御された単分散の微

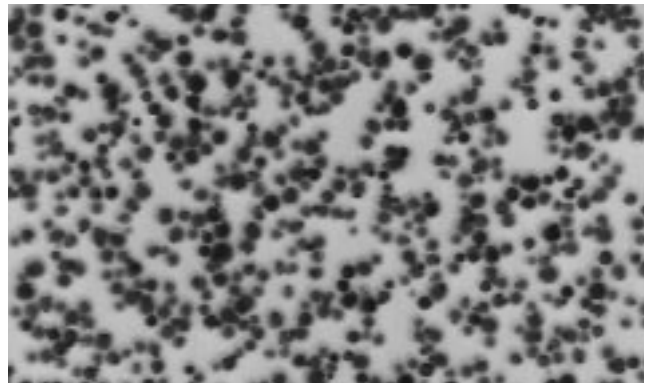


Photo 3 Silver halide fine grain crystals used in DI-AL

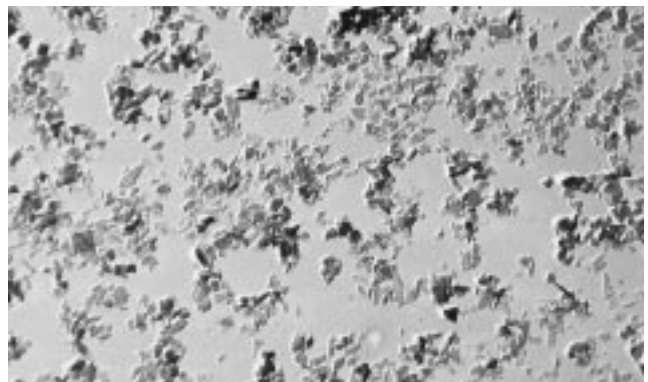


Photo 4 Silver salt crystal of long-chain fatty acid

結晶形成技術と分散技術を開発した。この非感光性の長鎖脂肪酸銀塩結晶は、Photo 4に示されるように約0.4 $\mu$ mの鱗片の形をした微結晶であり、本ドライフィルム写真乳剤層内にきわめて均質に分散されている。

### 3.3.3 新規バインダー技術とそれによる精密塗布技術

本ドライフィルムは、従来の写真フィルムと同様に精密同時重層塗布技術を用いている。そのために、写真乳剤層に含有される各化合物は固体微粒子分散されている。また、それらを保持するバインダーとしては新規に開発したポリマーラテックスを使用している。写真乳剤層の塗布液は、これら固体微粒子分散物とポリマーラテックスにより最適なチキソトロピー性を有するように設計されている。チキソトロピー性とは剪断速度の増加に伴い粘度が低下する性質をいう。また、このように水系の分散物を用い、溶剤を使用していないので環境負荷が小さい塗布工程となっている。このようにして面質が良く、光の散乱が少なく、高画質のフィルムを得ている。

### 3.3.4 鮮鋭度向上技術

本ドライフィルムは裏面側にAH層を設けてある。AH層にはAH色素が含まれ、反射光による不要な感光を抑え、鮮鋭度を向上させている。このAH色素は露光の際にのみ必要で、その後は不要になるばかりか、残ったままでは診断時に無用な着色分として邪魔になるため、何らかの方法で除去することが必要である。

従来の写真材料では、現像時や定着時に処理液中に溶解されて流出することにより除去されているが、本ドライフィルムでは、無廃液、無廃材を特徴とするために、熱現像時に消色されるように工夫した。

消色の原理を模式的に Fig. 5 に示す。AH 層中には、AH 色素とともに、AH 色素を分解する物質(消色剤)を配しておく。そして、この消色剤にはその色素分解機能を抑える物質(CAP 剤)が結合している。現像時に約 120 まで加熱されると、この CAP 剤は分解する。この結果、消色剤の色素分解機能が有効になり、AH 色素を分解、消色する。この CAP 剤はフィルムの有効期限内には安定に存在しなければならないし、また、熱現像時には速やかに分解する必要がある。CAP 剤と消色剤を結合させ、きわめて安定な不溶性結晶を作らせることにより、所定の目的を達した。Fig. 6 に加熱前後の吸収スペクトルの変化を示した。加熱処理前の吸収曲線(実線)が 120、20 秒加熱することにより、消色して一点鎖線の吸収曲線となっている。

### 3.3.5 銀色調の調整技術

従来のウェット処理システムにおける現像銀と本ドライシステムにおける現像銀の形状の差を Photo 5 に示す。写真のように、従来のウェット処理システムにおける現像銀形態は、ウェットであるために、いわゆる化学現像により長いフィラメント状の現像銀形態が得られるのに対し、本ドライシステムでは、いわゆる物理現像で行われるため、現像銀の形態はウェット処理のそれとは非常に異なっている。このことが、ウェットシステムとドライシステムの銀色調の差として現われやすい原因となっている。本ドライシステムにおいては、熱現像過程を制御するために先に述べた新規開発のポリマーラテックスバインダー技術に加え、先に述べた銀イオン輸送剤を新規に開発し、最適な銀色調が得られるように調整してある。

### 3.4 画像保存性

従来のウェット処理方式による銀塩写真材料は、露光されなかった部分のハロゲン化銀は定着液に溶解されて洗い流される。したがって、画像が作られた後は、画像を形成するための物質はフィルム中に含まれず、このことからきわめて安定な画像が形成されている。

一方、本ドライフィルムでは無廃液、無廃材を実現するために定着処理を省略したものとなっている。したがって、画像が作られた後も、画像を形成するための物質(ハロゲン化銀、有機銀塩、現像薬など)はフィルム中に残されたままになっている。このことから、診断に使用される時にはハロゲン化銀結晶は全面感光した状態になる。感光した状態であるので、暗所に保管していても不用意に熱をかけることにより再び熱現像過程が生じ、カプリの上昇が生じることがある(暗熱かぶり)。また、不用意に光を照射し続けることにより、ハロゲン化銀粒子自身がプリントアウトすることによるカプリ

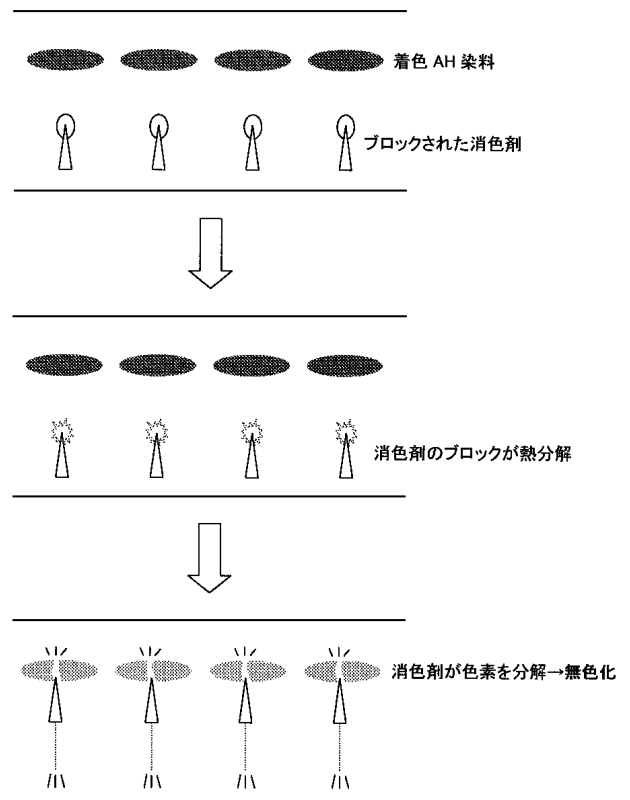
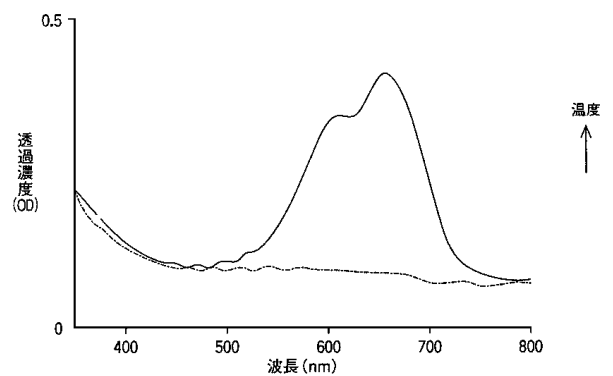


Fig. 5 Schematic diagram of decolorization process of decolorable AH system



消色性AHシステムの吸収スペクトル変化(モデル系)  
(加熱処理前の吸収スペクトル(実線)が120°C、20秒間加熱処理することにより消色する(一点鎖線))

Fig. 6 Absorption spectrum change of decolorable AH system by heating

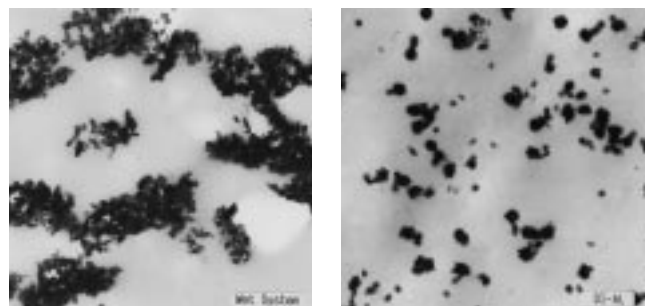


Photo 5 Comparison of developed silver morphology

の上昇が生じることになる。本ドライフィルムでは、すでに説明した超微粒子ハロゲン化銀導入と非感光性有機酸銀塩の均質拡散技術のほかに、さらに、新規な保存性改良化合物として有機ハロゲン化合物を開発し、常温では実用的に十分な保存安定性を確保している。

有機ハロゲン化合物の画像保存性の改良原理は以下のように考えられる。Fig. 7に示すように、有機ハロゲン化合物は熱または光によりハロゲンラジカルを生じさせる。このハロゲンラジカルは、ハロゲン化銀上に不用意に生じた潜像や微細なかぶり銀をハロゲン化銀へと酸化させると考えられる。このようにして、保存時の銀形成を抑制することができる。しかしながら、この有機ハロゲン化合物のハロゲンラジカル発生の活性と量は最適に調整しないと、ハロゲン化銀感光過程に作用して低感化を招いたり、画像保存時の銀画像濃度の低下を招くことになる。本ドライフィルムでは最適な分子設計と最適な写真乳剤層構成を行っている。

以上のように、本ドライフィルムの特性上、ウェットの銀塩フィルムとは異なった配慮が必要であるが、保管条件に注意すれば安定した画像保管が可能である。

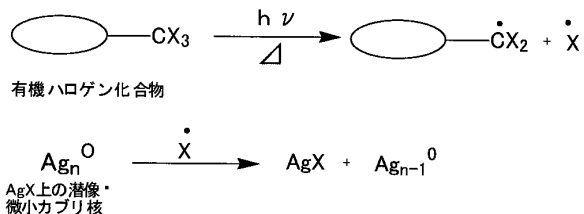


Fig. 7 Archivability improving mechanism with organic halogenide compound

## 4. 高画質・高速記録技術の開発

### 4.1 新しい高画質化画像処理技術 A-VRの開発 (Advanced Variable Response Spline)

レーザーイメージャーやドライイメージャーは、CTやMRIなどの医用診断画像をさまざまなフォーマットでフィルムへ出力できるように、入力画像を拡大または縮小する機能(補間処理機能)を有している。この補間処理により画像のシャープネスを変えることが可能であり、当社のイメージャーでは従来からシャープ/ミディアム/スムーズの3種類の補間処理方式を搭載し、市場の要求に応じてきた。しかしながら、近年、医用診断画像発生装置の高画質化の進展とともに、イメージャー側としてもさらに高画質な補間処理が必要になってきている。そこで、今回、イメージャーの画質をさらに向上させるための新しい補間処理 A-VRを開発した。

#### 4.1.1 A-VRの特長

以下に新しい画像処理の特長を示す。

診断目的に応じた幅広いシャープネスコントロールが可能である

文字領域と画像領域それぞれに対し、最適な画像を実現できる

拡大・縮小処理後の画像信号の連続性がよく、滑らかである

#### 4.1.2 A-VRの原理

A-VRの処理はFig. 8に示した各処理から構成されている。まず、CT、MRIなどの各種画像診断装置からの入力画像に対し、その画像内の各データごとに文字領域か画像領域かの判別処理を行う。次に、それぞれの領域に適した画像サイズ変換処理を行った後、再度合成して出力画像に変換する。文字領域と画像領域の処理を独立させ、画像領域の画質をバリエーションに調整する。

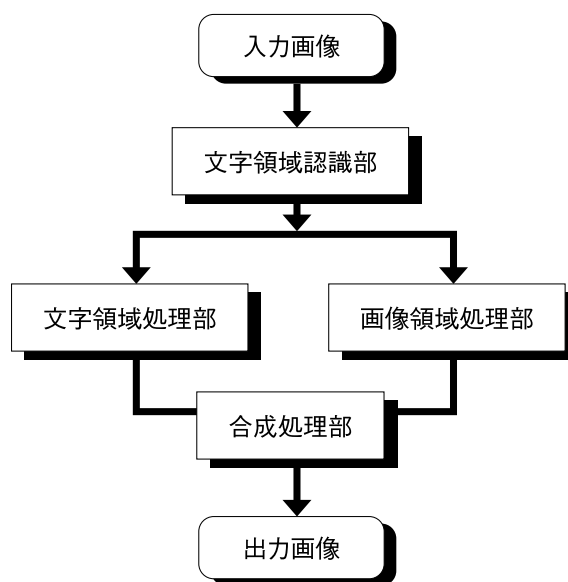


Fig. 8 A-VR image processing

#### 4.1.3 画像判別処理

まず、求めようとする補間点の近傍4点の値を調べ、その最大値と最小値の差分を求め、その差分値がエッジ検出パラメータ  $Th$  以下の場合には診断画像領域と判定し、 $Th$  よりも大きな場合は文字領域と判定する。

文字の境界部分では濃度変化が大きいという特徴があるため、このようにして画像を判別することができる。

#### 4.1.4 診断画像領域の補間処理

診断画像領域はVR補間処理で画像サイズ変換を行う。VR補間処理は、連続性が良くシャープな補間であるCubic Spline補間と、連続性が良くスムーズな補間である3次B-Spline補間を組み合わせたものであり、連続性が良い2種類の補間をシャープネスパラメータで重み付け加算したものである。

$$f \times \text{シャープネスパラメータ} + b \times (1 - \text{シャープネスパラメータ})$$

f : Cubic Spline補間

b : 3次B-Spline補間

: シャープネスパラメータ

Fig. 9に示すように、シャープネスパラメータ  $\alpha$  が1の場合はシャープなCubic Splineの特性になり、 $\alpha$  が0の場合はスムーズな3次B-Splineの特性になる。 $\alpha$  が0と1の間の場合は2つの補間の間の特性になる。さらに  $\alpha$  を1より大きくすることでよりシャープにすることもでき、 $\alpha$  を0より小さくすることでよりスムーズにすることもできる。このようにシャープネスパラメータを可変することで、従来よりもシャープネス調整範囲を広げることができ、さらにきめ細かく調整することができるようになった。

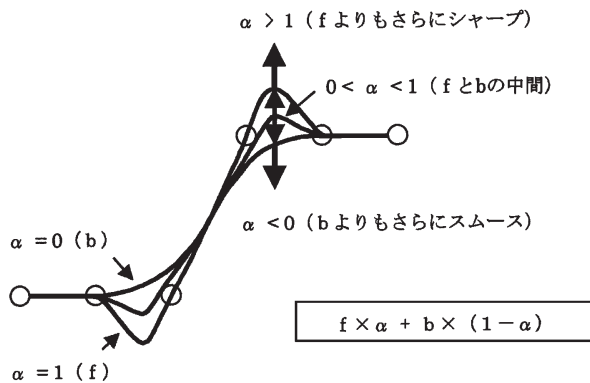


Fig. 9 Sharpness control

#### 4.1.5 文字領域の補間処理

文字領域は濃度ベクトル補間で画像サイズ変換を行う。Fig. 10に示すように、4点の中央の補間点を求める場合、通常の線形補間では4点の平均値が補間点の値になるが、濃度ベクトル補間では、まず4点から濃度変化が大きな方向、すなわち濃度ベクトルを求める。次に濃度ベクトルに直行する直線に近い点、Fig. 10では直線上の2点の寄与率を最大にして補間点を求める。このようにすることで、斜め線のギザギザを無くし、文字品質を向上させることができる。

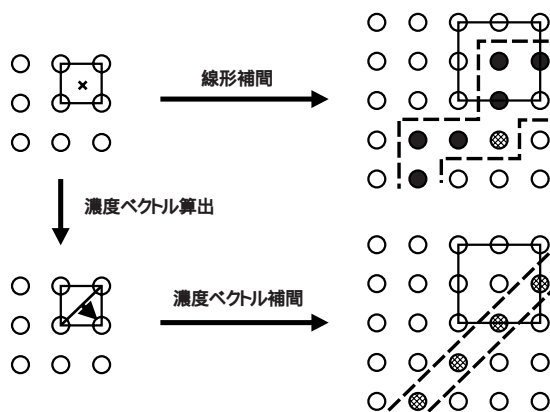


Fig. 10 Two methods of interpolation

## 4.2 装置技術

### 4.2.1 全体の構造

本ドライレーザーイメージャーの内部構造をFig. 11に示す。フィルムセット部のトレーにセットされたフィルムをフィルム取り出し機構により1枚ずつ取り出し、位置決め部でフィルム位置決めを行ない、記録部で画像をレーザーで記録し、熱現像部に搬送して熱で現像し、冷却した後に排出するという構造である。

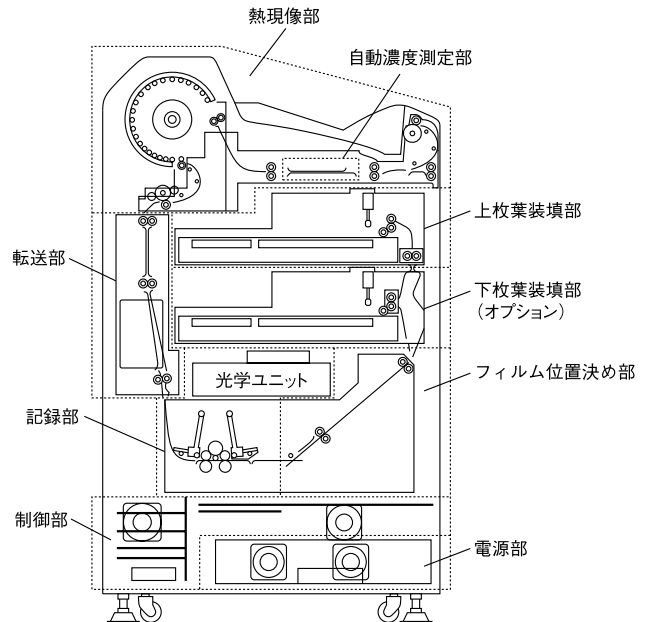


Fig. 11 Structure of imager

設置面積は、FL-IM Dの0.72m<sup>2</sup>に対し、本ドライレーザーイメージャーFM-DP Lは0.52m<sup>2</sup>と3割弱小さい。AC100V電源でも使用でき、配管も不要なので設置場所を選ばない。

### 4.2.2 フィルムセット部

フィルムをセットするトレーは最大2トレー(オプション)がセットできる構造となっている。各トレーには半切、B4サイズの中から任意のフィルムサイズを選択できる。

FL-IM Dと同様、2つのトレーを使用して半切では最大200枚、B4では最大300枚の連続出力ができ、さらに明室でのフィルムセットも可能である。

### 4.2.3 フィルム取り出し機構

装置の安定稼動のためには、フィルムを確実に1枚ずつ分離して取り出すことが必要である。本レーザードライイメージャーではFM-DP3543Tなどのドライイメージャーで新開発した枚葉機構をさらにシンプルに改良し、フィルム取り出し安定性を向上させている。

### 4.2.4 フィルム位置決め機構

フィルムが斜行したり、記録画像領域がフィルムからはみ出さないように、レーザー記録する前にフィルムの記録位置と方向を最適に制御する必要がある。本

ドライレーザーイメージャーでは、フィルムの両側から位置決め板で挟み込む機構により、多サイズのフィルムをシンプルな機構で位置決めできるようにした。

#### 4.2.5 記録部スキャナー

入力された画像情報に基づき、レーザーを変調しながらフィルム上を走査することにより画像を記録する。このレーザーを走査するのがスキャナーである。本ドライレーザーイメージャーでは高画質な画像を高速に記録するため、後述の各種新技術を導入した新規スキャナーを採用した。

#### 4.2.6 記録部副走査

位置決め機構によって位置決めされたフィルムに、レーザーで画像を記録する。この時、搬送ローラーが高精度に一定の速度で回転していないとフィルムの搬送速度が変化して画像にムラが発生する。また、フィルムが記録時に上下にばたつくことによってムラが発生する。本ドライレーザーイメージャーでは、必要とされる搬送ローラーの精度を実現し、さらに記録位置直前の小径ローラーでフィルムの上下動を積極的に押え込むことによって、安定な副走査機構を実現している。

#### 4.2.7 フィルムクリーニング

フィルムにゴミが付着すると現像時に熱がフィルムに一樣に伝わらず、画像に白ポツ状の現像ムラが発生したり、搬送時にフィルムにキズをつけるおそれがある。そこで、フィルムに付着しているゴミを確実に除去するために、現像部の直前に粘着性のクリーニングローラーを配置した。このクリーニングローラーには、フィルムに副作用を与えることなく、長期間使用しても変質しない材料を使用している。汚れて粘着性が劣化しても、簡単な水洗いにより粘着性が元のレベルに復活するので、長期間使用可能である。

#### 4.2.8 熱現像部

記録されたフィルムに熱を加えることで画像が形成される。高い処理能力と高い濃度安定性を得るために、後述の新規開発のヒートプレート/ローラー熱現像方式を採用した。

#### 4.2.9 冷却部

熱現像に使用するフィルムの現像ムラを抑えるためには、熱現像時に均一に熱を与えるだけでなく冷却時にもフィルム全面を均一に冷却する必要がある。本ドライレーザーイメージャーでは、表面の熱伝導特性の最適化をはかったローラーを用いて冷却を全面で行うことによって、現像ムラを抑えている。

#### 4.2.10 自動濃度測定部

濃度キャリブレーションを行う時には、冷却されて濃度が安定したところで、フィルムのキャリブレーション用パターンの濃度を測定する必要がある。測定

は自動的に行われ、この測定値を使って濃度の補正をして、常に安定した濃度を実現している。

### 4.3 レーザー走査技術

本ドライレーザーイメージャーで得られるフィルム上の画像は、入力された画像情報に基づき、レーザーを変調しながらフィルム上を走査することにより得られている。

このレーザーを走査し、フィルム上に書き込むところがスキャナーであり、本ドライレーザーイメージャーのスキャナーはFig. 12のように、半導体レーザー(Laser Diode:以下LDと略す)、ポリゴンミラー、走査レンズによって構成される。

Table 2に説明するように、各部品に各種新技術を導入することによって、高画質・高速記録可能なレーザー走査技術を実現している。

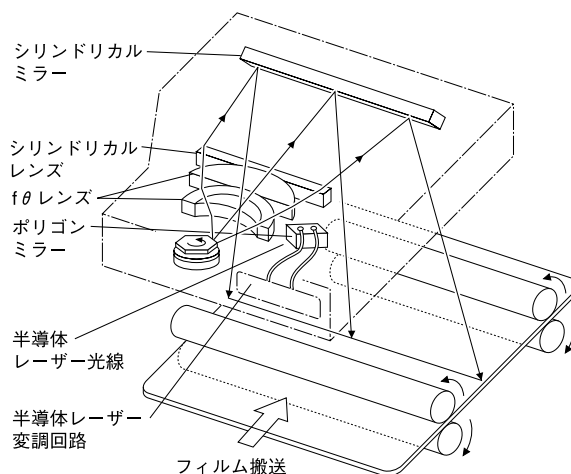


Fig. 12 Scanner unit

Table 2 Comparison of Two Scanners

	FM-DP L	FL-IM D
半導体レーザー 波長	660nm	780nm
出力	35mW	5mW
本数	2本	1本
光偏向器回転数 (ポリゴンスキャナー)	9012rpm	8560rpm
走査周波数	901.2Hz	856Hz

#### 4.3.1 短波長高出力LDの採用

本ドライレーザーイメージャーのフィルムは、赤色光の記録で感度、鮮鋭度などの特性が最適になるフィルムである。このため、スキャナーの光源はフィルムの特性に合わせて、波長660nmの短波長LDを使用している。FL-IM Dの記録には5mWの赤外波長LDを使用していたが、本ドライレーザーイメージャーのフィルムへの安定な記録のためには、その特性から、より高出力のレーザー光が必要になる。このため、光源には、660nm・35mWの短波長高出力LDを2本合波して70mWの高出力を実現し、記録を行なっている。短波長高出力LDは、DVD(Digital Video Disk)への使用を目的として新規に開発されたLDであり、この最新のLDを記録



用の光源として実用化することで本ドライレーザーイメージャーが実現可能となった。

さらに、本ドライレーザーイメージャーでは、高速にかつ多階調画像信号の記録を行う必要がある。採用した高出力のLDは、高い光出力を出すために、大きな駆動電流を必要とするために、これを高速に制御する必要がある。この高出力で4096の階調を実現する高速駆動電流変調回路を独自に設計することによって、2本のLDの光量を正確に変調制御している。

#### 4.3.2 空気軸受けポリゴンミラーの採用

スキャナーでは、画像を高速に記録するための走査機構として、ポリゴンミラーによる走査を採用している。特に本ドライレーザーイメージャーでは、高速回転時により安定したレーザー走査を実現するために、スキャナー部唯一の可動部であるポリゴンスキャナーに、ベアリング軸受けよりもさらに信頼性の高い空気軸受けを採用した。また、ポリゴンスキャナーの鏡面部に高反射特殊コートを使用することで反射率を上げ、記録光の高効率使用を行い、高処理能力をも実現している。

#### 4.3.3 走査レンズおよびビーム径の最適化

記録されるフィルムの対レーザー光特性とレーザーのビーム径とのバランスが悪いと、記録した画像の濃度ムラなどが見えやすい画像になる。本ドライレーザーイメージャーの走査レンズでは、フィルム画質評価を繰り返し、ドライフィルムに最適なビーム径を設定したことにより、必要な鮮鋭度を保った状態で、走査ムラの少ない高品質な画像を得ている。

### 4.4 高速熱現像技術

#### 4.4.1 高速熱現像技術の課題

本ドライレーザーイメージャーで採用しているフィルムは、110 ~ 130 の温度範囲にて、10秒 ~ 30秒の時間、熱現像することが必要である。この条件内で、一枚のフィルム面内における濃度均一性と、高速連続処理の場合のフィルム面どうしの濃度均一性(一定性)を実現することが大きな課題となる。

Fig. 13は熱現像過程における典型的なフィルム温度の時間変化特性を示している。領域①は昇温期間、領域②は一定温度期間、領域③は冷却期間を示す。左右の矢印の間が実質的な熱現像期間となる。一方、フィルムの現像濃度は、Fig. 14, 15にあるように熱現像温度と熱現像時間が変わると大きく変わるという特性を持っている。上記の実質的な熱現像期間において、熱現像温度・熱現像時間が変動すると濃度変動を引き起こすことになる。

このフィルムの熱現像特性を考慮すると、上記の実質熱現像期間において、一般に考えられる「温度精度を上げること」のみならず、「時間精度を上げること」も重要になる。これらの要件を満たした上で、さらに高処理能力を実現するためには、レーザー記録後のフィルムを室温から約120℃へ数秒で昇温し熱現像すること

が必要となる。医用画像診断において、現像での濃度ムラを最小にすることは最も重要であり、そのために現像処理温度の均一性を $\pm 1$ にする必要がある。

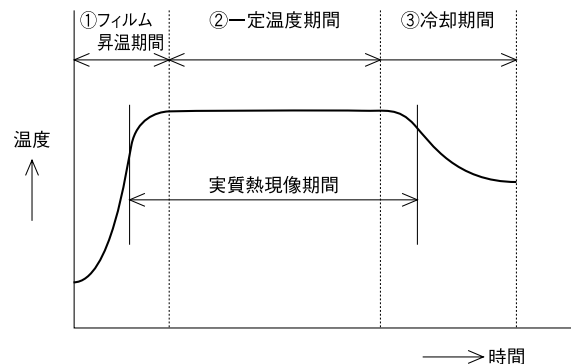


Fig. 13 Typical film temperature profile during thermal development

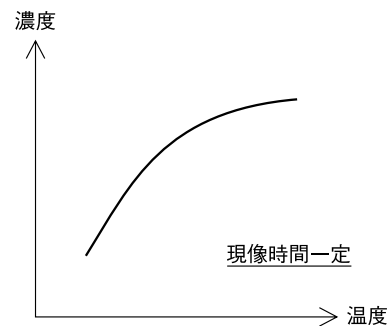


Fig. 14 Dependence of optical density on temperature

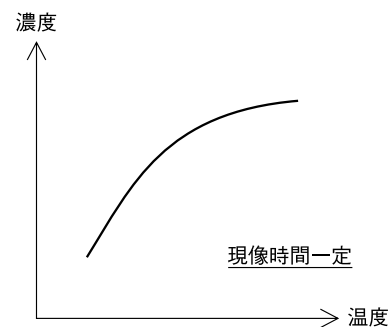


Fig. 15 Dependence of optical density on time

よって、高速性と均一性を兼ね備えた熱現像技術の開発が重要課題であり、これをヒートプレート/ローラー方式という新しい独自の熱現像技術で克服した。

#### 4.4.2 加熱原理の選択

一般にフィルムに熱を伝える手段を伝熱の原理で分類すると、伝導型 対流型 放射型の3つになる。

##### 伝導型

伝導型熱現像器の代表例はヒートドラム(熱せられたドラム)を熱源に用いたものである。温度制御されたドラムから直接的に熱伝導によってフィルムに熱を伝えて加熱する。フィルムと熱源が接

触していることから伝熱速度が大きく、一般に精度よく温度制御ができる (Fig. 16)。

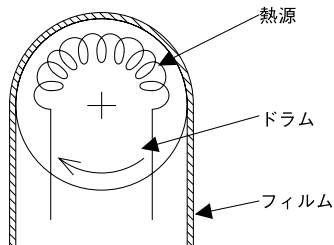


Fig. 16 Conduction type thermal development unit

#### 対流型

対流型熱現像器の代表例は熱風を用いたものである。温度制御された空気を吹き出し板 (スリットや多孔) から吹き出し、フィルムに当てて加熱する。熱風の速度などによるが、空気とフィルムとの境界に熱抵抗層が存在するので比較的伝熱速度は小さい。しかし、フィルムが熱伝導面に接触しないという利点がある (Fig. 17)。

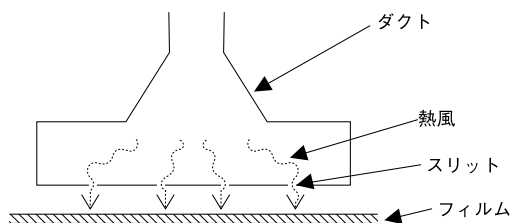


Fig. 17 Convection type thermal development unit

#### 放射型

放射型熱現像器の代表例は遠赤外線を用いたものである。遠赤外線を直接フィルムに照射して、フィルムで起きる光熱変換によって加熱する。光が直接的に熱に変わるので高温の熱源を用いれば伝熱速度は大きくなるが、一般に温度の制御が難しい。対流型と同様に、フィルムが熱伝導面に接触しないという利点がある (Fig. 18)。

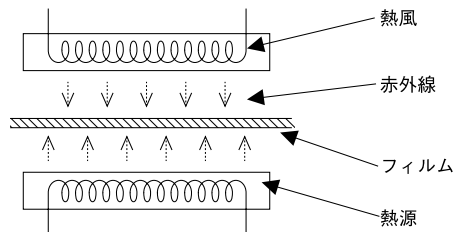


Fig. 18 Radiation type thermal development unit

上記の特徴からわかるように、対流型と放射型はフィルムが熱伝導面に接触しないという利点があるが、数秒で約 120 に上げるといった迅速加熱特性と  $\pm 1$  の高い温度精度が得られそうにない。一方、伝導型はフィルムと熱源を直接的に接触させて伝熱させるので、熱源からフィルムへの伝熱速度が大きく、迅速加熱特性

がよいことが予想される。さらに、伝導型では、フィルムの温度は熱源の温度と同じになる特性をもつので、フィルムの温度を制御するには熱源の温度を制御すればよいというメリットが出てくる。熱源とフィルムとが接触することによる種々の課題は、新規技術開発により克服できると判断し、この加熱原理に基づく方式を探求した。

#### 4.4.3 ヒートプレート/ローラー方式の開発

伝導型熱現像器にはさまざまな方式があるが、シート形態であるフィルムの連続的な加熱現象を考えると、採りうるシート搬送方式と切り離して考えることはできない。シートの加熱においては、熱源となる加熱部材とシート押え部材との間にシートを挟持して搬送するのが一般的である。

このことを考慮して、従来から実用化されてきた伝導型熱現像器を以下に分類した。以後の説明において、それぞれの方式の名称を (加熱部材) / (シート押え部材) のように記述すると、典型的な方式は、ヒートドラム/ベルト方式、ヒートシュー/駆動ドラム方式、ヒートプレート/ベルト方式の三つとなる。各方式の特徴を以下に示す。

##### ヒートドラム/ベルト方式

熱現像転写型感光材料を中心に広く採用されている熱現像方式である。フィルムの加熱手段としてヒートドラム (熱せられたドラム) を用い、このヒートドラムにエンドレスベルトを所定角度巻き付け、ヒートドラムとエンドレスベルトの間にフィルムを挟持搬送して熱現像を行う。温度精度は比較的良好だが、ゴミなどの異物混入で発生する空隙による白ボツ状のムラの発生や、フィルムをヒートドラムから剥離する時のフィルム欠損ゴミなどが、再度ヒートドラムに付着することによる白ボツ状のムラが懸念される。また、エンドレスベルトの熱劣化などにより、その張力が不均一になると、フィルムとヒートドラムが均一に接触せず、現像ムラが発生するおそれがある (Fig. 19)。

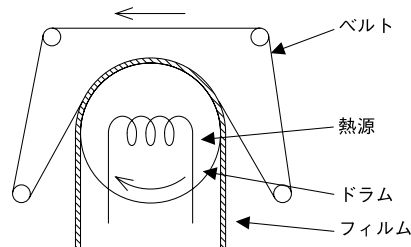


Fig. 19 Heated drum / belt type development unit

##### ヒートシュー/駆動ドラム方式

ヒートシューとは駆動ドラムの外側を被う形の加熱部材で、靴 (= shoe) に似ていることからそう呼ばれる。従来から熱現像用印画紙およびフィルムの熱現像に用いられてきている熱現像方式である。典型的なヒートシューは形状が半円筒形の加熱さ

れたスリーブ状部材である。フィルムは半円筒形のスリーブ状部材の凹側と接触する。スリーブ状部材の凹側の形状に合致する円筒状駆動ドラムが摩擦駆動力によってフィルムを駆動し、加熱現象する。フィルムの現象の場合は、と同様の白ポツ状のムラのほかに、スリーブ状部材から駆動ドラムへの押し圧不均一による現象ムラも懸念される (Fig. 20)。

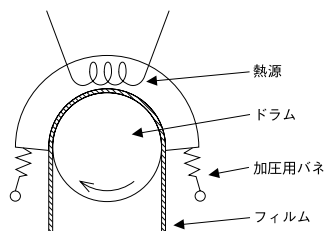


Fig. 20 Hot shoe / drive drum type development unit

#### ヒートプレート/ベルト方式

古くから各種熱処理や熱現象に利用されてきた方式である。伝熱部材はプレートの形態であり、この伝熱部材にフィルムを加圧接触させて熱現象を行う。加圧部材としてはフィルムをプレート状部材に対して押圧するエンドレスベルトがよく用いられる。フィルムの温度はプレートの温度分布を反映するので、比較的溫度精度は上げやすい。エンドレスベルトを用いているので、と同様に熱劣化を原因とする現象ムラのほかに、フィルムがヒートプレートとこすることによる引っ掻きが懸念される (Fig. 21)。

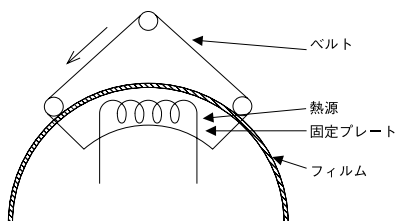


Fig. 21 Heated plate / belt type development unit

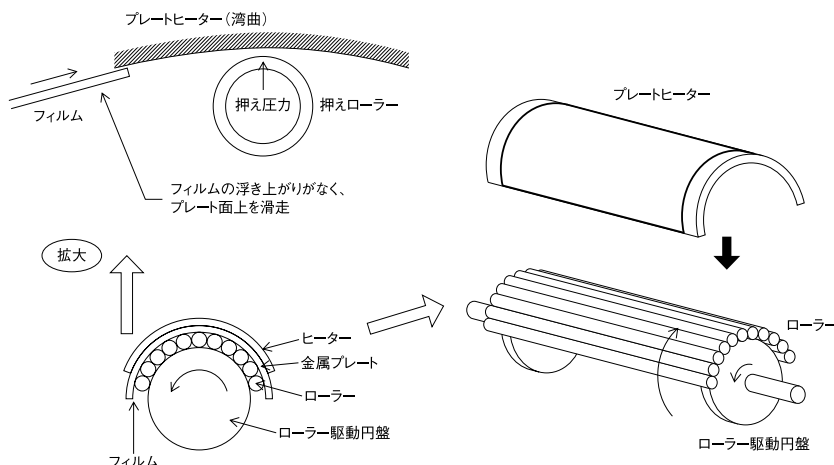


Fig. 22 Heated plate / roller type development unit

以上の方式とも現象ムラなどの発生が懸念された。特に、透過像で観察する医用診断画像ではアーチファクトの視認性が格段に厳しく、ゴミなどの異物混入で発生する空隙による白ポツ状のムラなどが大きな問題となる。

われわれは熱現象機構の特性をよりよく掴むために、熱流れのシミュレーション解析や、シート搬送の安定性解析、さらに、画像評価など鋭意研究を重ねた結果、のヒートプレート/ベルト方式の範疇ではあるが、ヒートプレートの形状を工夫するとともにフィルム押え部材をベルトからローラーに変えた、まったく新しいヒートプレート/ローラー方式の熱現象器を開発した。この技術によって、低い消費電力で高い処理能力と安定な濃度均一性を可能とした。

その内容を以下に説明する。

#### 4.4.4 ヒートプレート/ローラー方式の構造と特徴

本方式による熱現象器の構造を Fig. 22 に示した。全体はヒートプレート、押しローラー、ローラー駆動円盤とから構成されている。ヒートプレートはニクロム線などの発熱体を平面状に敷設して収容した板状の加熱部材であり、このヒートプレートと、駆動円盤によって回転する複数の押しローラーとにより、これらの間にフィルムを挟持搬送して熱現象を行う方式である。エンドレスベルトを備えていないために、本質的にエンドレスベルトの熱劣化による現象ムラが発生しない。

一般には、熱現象時にフィルムが高温になるため、その平面性が悪化し、フィルムがプレートから浮き上がる懸念があるが、本方式では湾曲したプレートの凹側にフィルムを通し、複数のローラーでフィルム全体をしっかりと押えることにより、このフィルムの浮き上がりを防いでいる。

また、ローラー表面・フィルムの摩擦係数をヒートプレート表面・フィルムの摩擦係数よりも十分に大きくし、室温から高温(現象温度)までの温度範囲において、ローラーのスリップが生じないようにしている。

さらに、高温ではフィルムが軟らかくなるため、フィルムの乳剤面を引っ掻かないように注意することが必要である。本方式ではこれを避けるため、フィルム

のバック面をプレートに接触させて滑らせて熱現像する方式を採用した。ヒートプレートのフィルム接触面には現像温度におけるフィルムとの摩擦抵抗を小さくする特性を設けており、バック面の傷を防ぐとともに、ゴミなどの異物が混入しても滞留せず、白ポツ状の現像ムラが発生しにくい。

本方式は直接伝熱方式のため、迅速加熱性が優れていることはいうまでもない。連続処理においても、フィルムは数秒で昇温し、所定の現像温度および現像時間を高い精度で実現できる。さらに、ヒートプレートの熱容量とヒーターの電力密度を所定分布とすることにより、ヒートプレート伝熱面の場所的な温度分布が小さいこと、および押えローラーの径、配列ピッチ、押え圧力などの最適化により、フィルム搬送路全般にわたってのヒートプレートとフィルムとの接触が一様であることにより、加熱の均一性も優れている。ヒートプレートの両端部の放熱を少なくするために、断熱性の固定部材を採用しヒートプレートを極力熱的に分離するような構造にしている。その上で、ヒートプレート両端部の温度低下を補償するため、ヒーター構成にも工夫がなされており、フィルム幅方向の均一加熱をも可能にしている。

昨今のCO<sub>2</sub>削減のためには消費電力を抑えることも装置開発上の使命であるとの考えから、ヒートプレートのヒーターのきめ細かい制御をして、無駄な熱の発生を抑えた高効率な熱現像を行うとともに、保温カバーなどにより熱現像部および装置全体の保温を強化して、消費電力を徹底して抑えている。

このことにより、AC100V電源での使用でありながら、あらゆる設置環境温度条件下において十分な装置立ち上げ時間の確保と、時間当たり約130枚(半切)の高い処理能力を実現している。

また、ヒートプレート近傍の雰囲気清浄するガスフィルターを備えており、環境に対する配慮を徹底して進めている。

## 5. システム構成

代表的な接続形態をFig. 23に示す。

本ドライレーザーイメージャーFM-DP Lには、FCRを初めとする各種画像診断装置を接続することができる。

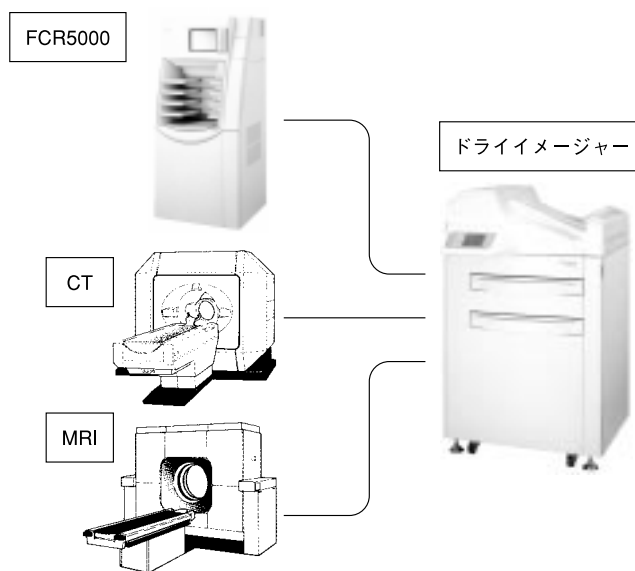


Fig. 23 Examples of system formation

## 6. 今後の展開

時代はウェット処理での画像記録システムから、ドライ処理の画像記録システムへ確実に動き始めている。このような状況の中、拡大するデジタル画像診断に対応すべく、ドライ処理で、かつ高画質・高速処理可能な医用画像用ドライレーザーイメージャーFM-DP Lを開発した。今後さらに技術の改良を進め、新しい世代にふさわしい商品へと発展させたい。

(本報告中にある“Fuji”、“Fuji Film”、“FCR”は富士写真フイルム(株)の商標です。)