

高画質ドライイメージャーシステムの開発

The Development of a High Image Quality Dry Imager System

西脇 州* 榎野 昭雄** 三觜 剛* 田口 あきら**
Nishiwaki, Shu Kashino, Teruo Mitsuhashi, Tsuyoshi Taguchi, Akira

In 1999, Konica developed the DRYPRO photothermographic medical imager system, consisting of the DRYPRO722 laser imager and three SPDI (silver photographic dry imaging) films: SD-P, SD-PC, and DR-P. Together, the DRYPRO system provides exceptional image quality to serve a host of radiographic modalities, as well as a processing speed of 150 sheets per hour, the fastest in the world.

1 はじめに

1992年環境サミットでの地球温暖化問題、1996年現像廃液の海洋投棄禁止等により、環境意識が高まり、より一層の環境保護を考慮した商品開発が企業に求められている。

メディカル分野においても、現像処理のドライ化の要望が高まり、様々な方式のドライシステムが提案され、市場に投入されてきた。これら、多くのシステムは医用画像として充分満足出来るもので無かったり、処理速度が遅い、または廃材が出る等、課題の残る物であった。しかしながら、液を使用しないため、設置場所を選ばなくて良いことから、レーザーイメージャー市場におけるドライイメージャーの占める割合は急速に高くなっている。Fig. 1にレーザーイメージャーの全世界年間販売台数の推移を表すNAPM（全米購買部協会）のデータを示す。ほぼ横ばいであったレーザーイメージャーの販売台数がドライイメージャーの参入により急激に増している。

そこでコニカでは、これら市場状況およびニーズに応え、銀塩ドライ熱現像方式を採用したドライイメージャーDRYPRO722とその専用フィルムを開発した。以下に採用した技術の詳細を紹介する。

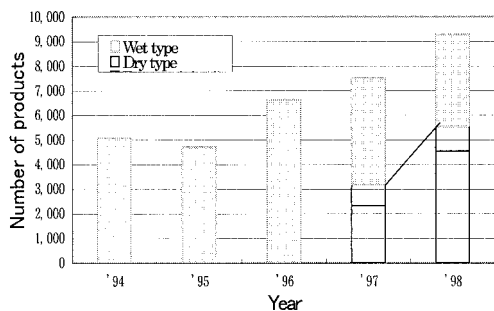


Fig. 1 NAPM Data

2 ドライ銀塩熱現像方式フィルム

2.1 層構成

ドライ銀塩熱現像方式のフィルムは、従来の湿式フィルムと比較して有機酸銀塩（ベヘン酸銀等）や現像剤などの機能性素材を多く含有している。そのために湿式フィルムよりも厚膜の層を同時に塗布している。Fig. 2は、乳剤側のフィルム断層の電子顕微鏡写真である。

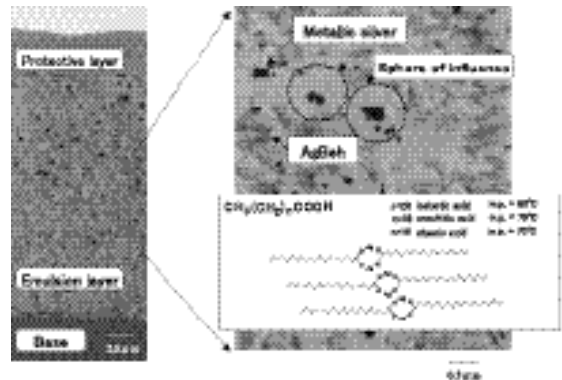


Fig. 2 Transmission electron micrographs of developed SD-P film and the structure of silver carboxylates (AgBeh)

2.2 画像形成原理

ドライ銀塩熱現像方式では、まずレーザー露光されたハロゲン化銀粒子(AgX)に潜像核が形成される。これは、ハロゲン化銀粒子が光センサー及びメモリー媒体として機能し、画像形成する点で従来の湿式フィルムと変わりはない。しかし、現像銀形成の過程でハロゲン化銀粒子自らが還元されて現像されるのではなく、熱によって周囲の有機酸銀塩から供給される銀イオンによる物理現像であることが大きく異なる。つまり、潜像核をもつハロゲン化銀粒子は、周囲にある銀イオン供給体として機能する有機酸銀塩（酸化剤）と現像剤（還元剤）による酸化還元反応の光触媒として機能するため、現像反応が促進され、現像銀（黒化銀）が得られるのである（ドライ銀塩熱現像方式の原理図は、巻頭の図を参照）。

* M Gカンパニー M G材料システム開発センター
** M Gカンパニー M G画像システム開発センター

3 フィルムの高画質化技術

診断しやすいフィルムには、安定した高濃度、最低濃度を有する写真特性に加え、画像が冷黒調である湿式フィルムに近い色調をもった高画質化設計が求められる。特に均一な現像銀を形成することが必要で、現像銀形成を制御する技術が重要となる。

3.1 熱現像進行の特徴

Fig. 2や現像原理からわかるように、現像進行の際には、現像中心の近傍の有機酸銀から順次消失していき、現像停止後には現像銀の周囲には有機酸銀が消失した球状の領域が生じている。この領域は、「Sphere of Influence (勢力圏)」と呼ばれているが、この勢力圏を制御することにより特性曲線や銀色調を向上させることができる。解析の結果、一定の現像条件下では勢力圏の半径 r が現像時間に対して直線的に成長することから、次のような仮説が考えられる。(1)勢力圏内での銀イオン移動は律速過程でない。(2)時間あたりの現像銀生成量は、勢力圏の表面積に比例する。つまり、熱現像では反応律速となる有機酸銀からの銀イオン脱離を制御する事が重要で、その手段としてハロゲン化銀粒子と有機酸銀塩の膜内密度を均一にすることが必要となる。

3.2 ハロゲン化銀粒子と有機酸銀塩の設計

現像銀形成を制御するためにハロゲン化銀粒子と有機酸銀塩から構成される新機能複合乳剤 (New Functional Integrated Emulsion) の設計を行った。ハロゲン化銀粒子には、現像後も膜内に残存するため、光透過率を考慮して $0.10 \mu\text{m}$ 以下の単分散超微粒子を用いているが、超微粒子に十分な分光感度/高照度特性を均一にもたせることは大変難しい。そこで新規赤外増感色素と色素吸着を促進するための強色増感プロセスを開発した。また、有機酸銀塩の調製技術として、凝集させないで乾燥させて、低衝撃でマイルドな分散をする方法を採用した。これらの乳剤技術により膜内密度が均一化となり、低カブリで冷黒調の画質が達成できている。

3.3 保存性の向上

ドライ銀塩熱現像方式では、現像剤や現像促進剤などをハロゲン化銀粒子や有機酸銀塩と同一層へ添加しているため、現像前後ともに35 以上に長期間保管された場合や、現像後強い光に直接さらされた場合は、カブリが高くなったり、変色を引き起こしやすくなる。そこで反応の異なる数種類の新規のカブリ抑制剤を開発し、保存性を向上させている。

3.4 熱現像条件の選択

ドライ銀塩熱現像方式の特性曲線の特徴として、現像初期には直線的な階調が、現像後期には現像進行が肩部から順に終了し、カブリが上昇するという独特の挙動をしめす。この変化は、現像進行による勢力圏の重複とカバーリングパワーの変化によるものである。

- (1) 高照度部は、現像点が多いため現像進行途中から勢力範囲が重複し始めて現像銀成長速度が頭打ちになる。
- (2) 低照度部は、勢力範囲の重なりが少なく現像銀が際限なく成長できる。
- (3) 有機酸銀を完全消費すると現像は停止するが、有機酸銀が何個の現像点に分割されたかで現像銀による光の遮蔽面積が異なる。

以上の原理に基づく現像進行による特性曲線の変化を数値モデル化し、シミュレーションによるフィルム設計と最適な熱現像条件を選択している。

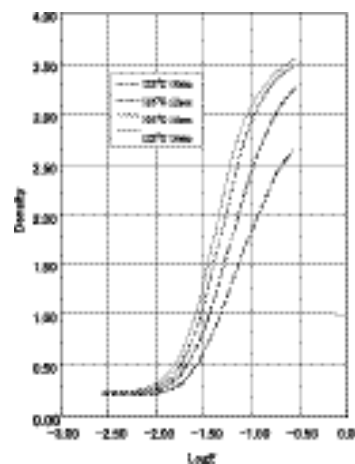


Fig. 3 Characteristic curves at various developing times

3.5 熱現像安定性

高画質化設計には、さらに安定した濃度再現性が重要であり、高速現像に加えて現像温度依存性の少ないシステム設計を行っている。特にフィルムの濃度安定化の制御因子としては、バインダーを適度に架橋することが重要である。Fig. 4は、現像温度変化に対する濃度1.0での濃度バラツキを示しているが、実用温度範囲では、濃度変動0.05以下に設計することができ、現像温度依存性が少なく濃度ムラなどが発生しにくいことがわかる。

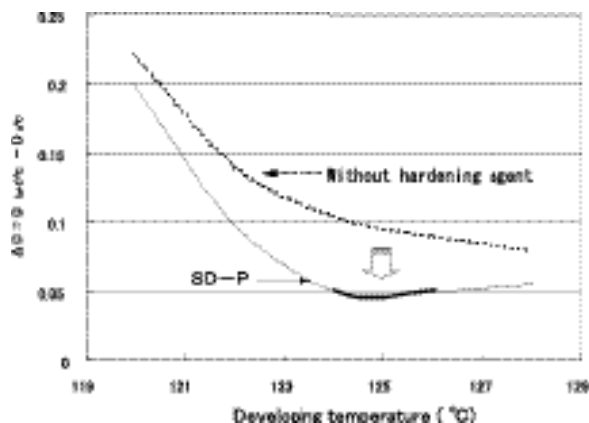


Fig. 4 Density fluctuation as a result of developing temperature fluctuating ± 1 from a given temperature

4 DRYPRO722 熱現像部の開発

4.1 熱現像部における高画質化実現の技術課題

ドライシステムは、熱で現像させ、所望のセンシトメトリーを得るものであり、常に安定した現像進行度を得るためには、高精度な熱供給の制御が必要となる。フィルムへの熱供給の手段は、伝導、伝達、輻射の3形態があり、この中でフィルム温度を管理しやすい熱伝導方式を採用した。構造としてはFig. 5に示すようなドラム巻き付け方式とし、挿入したフィルムを対向ローラーにより、回転するドラムに巻き付けながら現像する。

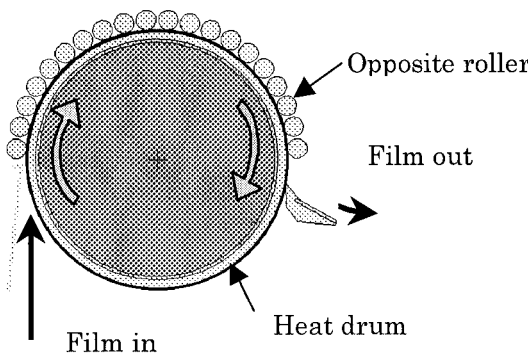


Fig. 5 Heat development unit

Fig. 6に乳剤への熱供給量を一定のもとで熱供給速度を変えた実験結果を示す。フィルム表面側からの熱供給速度が大きいと、乳剤の厚さ方向の温度分布、特にフィルム表面近傍が高温となり、高カブリになるため、低カブリを実現するための熱供給速度の制御が、第1の課題“乳剤層内の温度均一化”である。

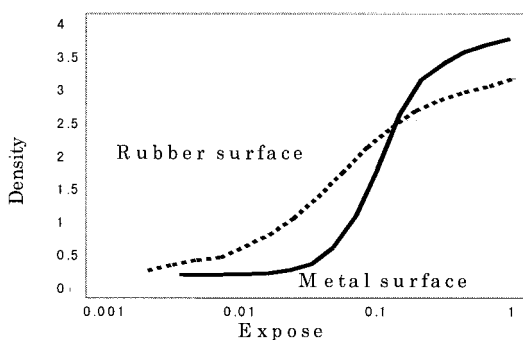


Fig. 6 Relation of drum surface and the density

センシトメトリーを得るための最適熱現像温度は120程度の高温度下でありながら、濃度分布を安定にするため、フィルム通過部全体（最大は半切フィルム356mm×430mm）について、許容温度範囲を1以下にする必要がある。これが第2の課題“フィルム表面温度の均一化”である。そして、所定の熱現像温度に昇温するまでと常温に冷却するまでの過程において、熱現像が進行するた

め、この範囲も含めた熱供給量を常に一定にする必要がある。これが題3の課題“熱供給量の均一化”である。

以下にこれら3つの達成技術について述べる。

4.2 乳剤層内の温度均一化

Fig. 6に示す結果から、フィルム厚さ方向の乳剤層温度分布均一化のためには、熱現像部には最適な熱伝導率を有する材料選定が重要なポイントとなる。フィルムへの熱供給速度が大きいと昇温速度が早くなり、現像時間が短縮される一方で乳剤層内の温度分布が大きくなる。そこで、フィルムへの熱供給速度の最適条件を明確にすべく、熱現像ドラム、対向ローラー、フィルムの熱移動をモデル化し、コンピューターによる熱伝導シミュレーションを行った。Fig. 7に熱移動モデルとシミュレーション結果を示す。

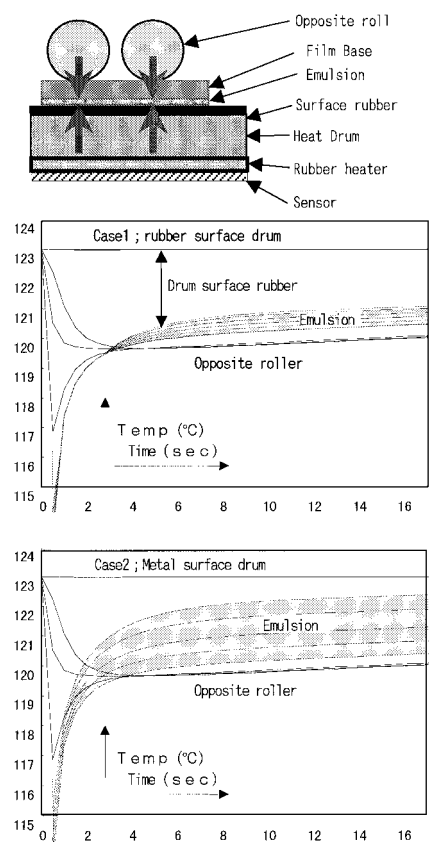


Fig. 7 Simulation models and results

ドラム表面材質により乳剤層内の温度分布が大きく変化しており、前記したドラム表面の熱伝導率が高い時に高カブリになるという実験結果とも一致している。この結果から、乳剤層内温度均一化のためには両面から熱供給がある事が望ましく、対向ローラーからの熱供給の重要性を認識した。フィルムバック面側からの熱供給は、ベースにて熱供給速度が決定されてしまうため、対向ローラーの熱伝導率は大きい程良い。また、シミュレーションと実験から次の事を設計に組み込んだ。ドラム表

面ゴムはバック面側からの熱供給速度とバランスさせる事が重要であり、これを加味してドラム表面ゴムの熱伝導率と厚さを最適に設計した。

4.3 フィルム表面温度均一化

ドラム表面温度分布は、ドラム幅方向の温度分布、制御による経時での変動、連続処理時の分布の3つに大別される。以下に詳細技術を記載する。

- (1) 熱現像部は温度均一化のため、熱流出を極力小さくすべく断熱構造にしている。しかしながら、熱現ドラムから周囲へわずかに放熱しており、特に両端は幅方向への放熱分が加算され、中央に比較し温度が下がる。これを補うため、フィルム通過部分より端に、左右各1個のサブヒーターを設け、それぞれを独立のセンサーにて温度制御させる事で、フィルム通過部の幅方向の温度均一化を達成している。
- (2) 熱現ドラムの温度は、Fig. 7のモデルに示すドラム内面にあるセンサーにより温度を検出し、ヒーターを制御しており、熱現像を支配するドラム表面温度は、定常状態での温度降下を考慮した算出値を合わせ込んでいる。フィルム処理時のドラム表面温度低下はドラムの熱伝導により一次遅れ系となるため、フィードバック制御のみでは温度変動が大きくなる。これを補う手段として、熱現部へのフィルム挿入タイミングを取り込み、フィードフォワードで制御を行う方法にて、ドラム表面温度の変動を抑える事ができた。
- (3) フィルム連続処理時、熱現ドラム表面にフィルムの接触する部分と接触しない部分ができる。常に熱現ドラム周方向の同じ位置にフィルムが来ると、フィルムへの放熱のため温度分布が無視できなくなり、如何に分散させるかが重要なポイントとなる。この状況をFig. 8に示す。

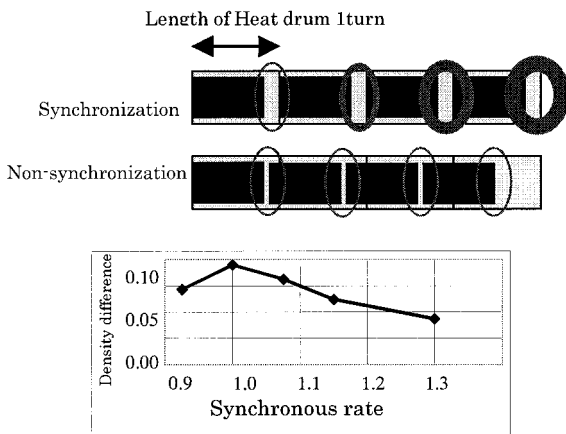


Fig. 8 Relation of the synchronous rate and the density

回転周期に対するフィルムの挿入間隔の比を同期率と定義し、同期率を1に近づけないように設定する必要がある。今回のシステムではサイクルタイム、フィルムサ

イズを考慮し、同期率を1未満に設定、連続処理時の濃度変動を許容範囲内に納めた。

4.4 フィルムへの供給熱量の均一化

対向ローラー側は熱源が無く、ドラムから熱の供給を受けて温度を保持している。フィルムは熱現像部に挿入されると、熱現ドラムと対向ローラーの双方から熱を吸収し昇温する。対向ローラーはフィルムに熱供給するため温度が低下し、フィルムの連続処理に伴い昇温速度が遅くなる。一方、熱現像後の冷却部においては、フィルムからの熱の持ち込みにより温度が上昇し、フィルムの連続処理に伴い冷却速度が遅くなる。

熱現像部にフィルムが挿入されてから対向ローラーに接するまでの時間を長くしフィルム余熱を行う事、対向ローラーの熱容量を増し変動率を小さくする事により、温度上昇の遅れと冷却速度の遅れを合わせ込み、総供給熱量を一定にした。この最適化により濃度変動の少ない熱現像部を達成できた。結果をFig. 9に示す。

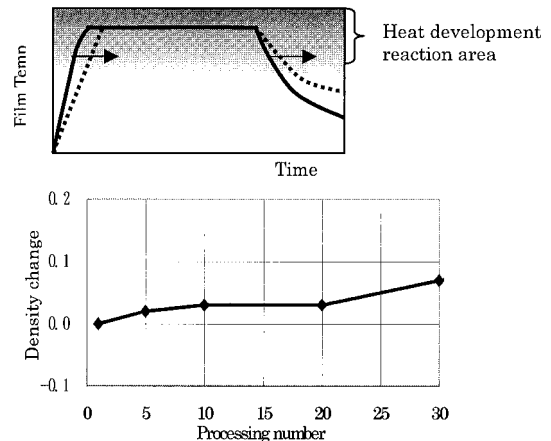


Fig. 9 Film temperature record and Density change results

5 まとめ

前述した技術を盛り込み、高画質で安定性の高いドライ用のフィルムとイメージャのシステムを開発できた。銀塩写真が持つ高い診断性を確保し、かつ環境保護に貢献する事が出来たと確信する。

6 謝辞

現像プロセスをモデル化しシミュレーション結果を基に適切なアドバイスをくださったコーポレートラボラトリー・中央研究所の伊藤司さん、熱伝導モデルを作成しシミュレーションを行い共に熱現像部を作り上げたMGカンパニー・MG画像システム開発センターの下地雅也さんを始め、多くの方の御協力を頂き製品化しました。関係された全ての方に感謝いたします。