

# コニカ メディカル スーパーラピッド システムの開発

## Super Rapid Medical Film Processing SR-System

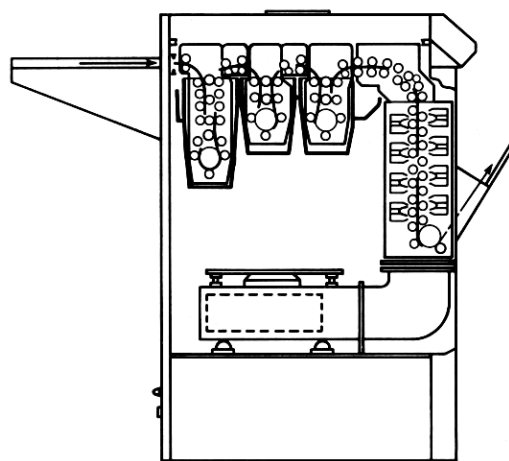
本田 凡

感材生産本部第2開発センター

樫野昭雄

感材生産本部

感材機器事業部設計部



### Abstract:

The SR-system, a super rapid medical film processing system -the fastest in the world- has been developed to cut processing time in half: from 90 to 45seconds. The SR-system consists of new films (MG-SR and MGH-SR), new processing chemicals (XD-SR as developer and XF-SR as fixer), and a new high-speed medical film processor(SRX-501).

The new system has been designed for use during traumatic injury treatment, surgical operations, and other such cases in which time is a critical factor.

The creation of the new system is made possible by the integrated development of new technologies in film, processing chemicals, and the processor itself. In film, new multi-layered mono-dispersed grains (HMG-SR grains) reduce developing and fixing time. A decrease of water absorption during processing is achieved for rapid drying, and in processing chemicals, the developer is designed to maximize processing speed. In the processor itself, a new drying apparatus increases drying efficiency, and an optimum arrangement of transport rollers makes for rapid and stable feeding of film. Altogether, these technologies achieve 45-second processing without degradation of image quality.

This paper describes these new technologies and the super rapid medical film processing SR-system that they make possible.

Honda, Chika

Development Center Section No.2

Photo Production Headquarters

Kashino, Teruo

Photofinishing Equipments

Division

Photo Production Headquarters

# 1

## まえがき

1987年11月、コニカは世界初の医療用45秒処理システム、「コニカ メディカル スーパーラピッド システム」を発表した。医療用の自動現像機(以下、自現機と略す)の処理時間は1968年以来20年間は90秒処理が最も速い処理であったが、今回これを1/2まで短縮した。この世界初の45秒処理システムは専用のフィルム、処理剤及び自現機からなり、専用フィルムはMG-SR (オルソフィルム標準タイプ)とMGH-SR (オルソフィルム高ガンマタイプ)である。SRはSuper Rapidからとった略号である。また、専用の処理剤は、XD-SR (現像剤)とXF-SR (定着剤)であり、45秒処理が可能な新開発の自現機はSRX-501である。

本稿では迅速処理の実現を目的としたコニカ メディカル スーパーラピッド システムの開発における背景、開発の考え方やまた、フィルム、処理剤、自現機の個々の技術について概説する。

# 2

## 開発の背景

今日の医用画像診断では増感紙(スクリーン)とフィルムを用いる直接X線撮影において、診断性向上のために部位別に写真特性を最適化したことによりフィルムの部位別化が進み、一方エレクトロニクスの進歩により様々なモダリティによる画像診断としてX線CT、US、MRI、PET、SPECTなどがおこなわれるようになってきた。

X線フィルムは、'70年初め迄は増感紙にタングステン酸カルシウムを用いる青色感色性のレギュラーフィルムの時代であった。'75年には、稀土類増感紙を使用する高感度の緑色感色性を持つオルソフィルムが現われ、そして'80年代に至っては各社はハロゲン化銀粒子の改良を進め、ハイオルソ単分散粒子(コニカ)、T粒子(EK)、そしてΣ粒子(フジ)などを開発し、クロスオーバーカット高鮮鋭化技術をもちいた高画質オルソフィルムの時代となっている。システムとしてマニュアル現像、7分半処理、3分半処理そして90秒処理とその処理時間が短縮されてきたが、その変遷に伴って画質、とくに画像の粒状性が劣化したという歴史がある。90秒処理のこの20年間に、レギュラーフィルムからオルソフィルムへとハロゲン化銀乳剤技術の進歩の中で、画質については高鮮鋭化と同時に粒状性の向上も図られてきており、今や高感度高画質の時代であるといえる。

ここで、銀塩写真を用いる直接X線撮影システムは、CRT画像診断システムとくらべて画質が極めて優れているという特長がある。一方、現像や定着などの暗室での湿式処理が煩雑である事が欠点である。したがって、この直

接X線撮影システムにおいてはX線テレビやチェンジャー、テイルシステムなどの周辺機器類が開発されてきたと同時に、現像処理そのものについてはマニュアル処理から自現機処理システムが開発され、その処理時間も90秒まで短縮がはかられてきた。

Fig.1に直接X線撮影用フィルムとCRT画像診断用のハードコピー用フィルムの'65年を100とした時のこの20年間の国内のフィルム推定需要の伸びと、病院及び診療所総数の増加を示す。また、Fig.2に代表的な自現機の処理能力(1時間あたりの四つ切りフィルムの処理能力)の変遷を示す。病院および診療所総数の伸びに対してフィルムの需要量の増加が大きく、一施設の当たりのフィルム使用量が增大しており、この需要の増加とFig.2に示す自現機の処理枚数の変遷とが呼応している。このように医療現場ではフィルムの処理量が増えており、コンパクト

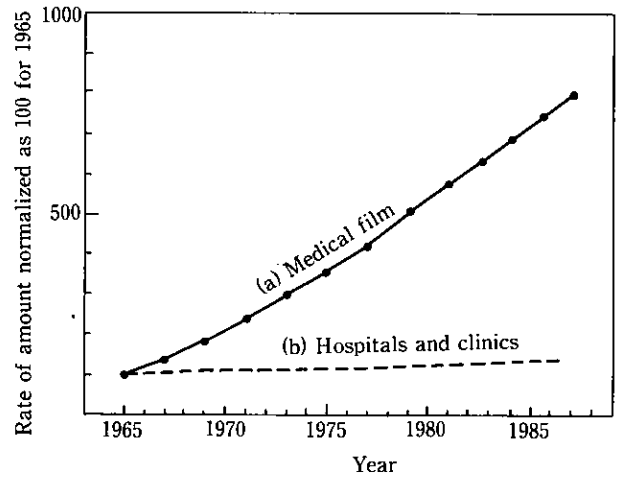


Fig. 1 Increase of (a) estimated annual consumption of medical diagnostic film, and (b) number of hospitals and clinics in Japan.

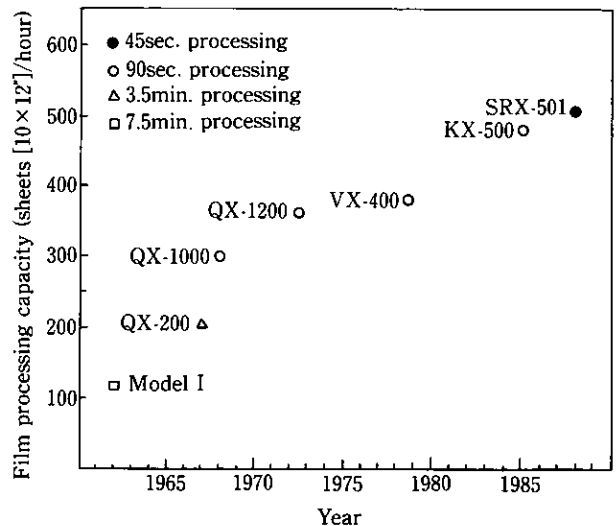


Fig. 2 Trend in medical film processing capacity

設計の自現機で迅速に多量のフィルムを処理するには、処理時間を短縮してフィルム搬送のラインスピードを速くしなければならない。

### 3

## 開発の目的と方針

以上の背景から、本システムの開発の目的は高画質医療用フィルムの現像処理の迅速化を実現し、一刻を争う医療現場への貢献と患者の待時間軽減などを目指したものである。そのために、現像処理時間は45秒に挑戦した。それは、60秒であると処理の迅速化のメリットが小さく、また30秒は現在のローラー搬送技術での大型自現機の開発はかなり困難であり、一方45秒は技術的にやはり難しいものの90秒の半分であるので、迅速処理が実感できるからである。

開発の方針として、まず現在の90秒処理システムの当社オソノMGシリーズの高画質を維持する事を最優先とした。そして、この高画質を維持しながら45秒処理を実現するために、フィルム、処理剤そして自現機からなるシステムとして開発する事とした。

### 4

## 45秒処理のシステム設計

Fig.3にSRX-501自現機のフィルム搬送経路を示す。Xレイフィルムの現像処理は、露光済みフィルムが現像された後、未現像のハロゲン化銀粒子が定着液で溶かされ、水洗行程で不要な薬剤を洗い流した後、フィルムの水分をスクイズラックでしごきとり、最後に温風で乾燥して終了する。従来はこの全行程時間が90秒であったが、本システムの開発の課題はこの時間を45秒に短縮する事である。

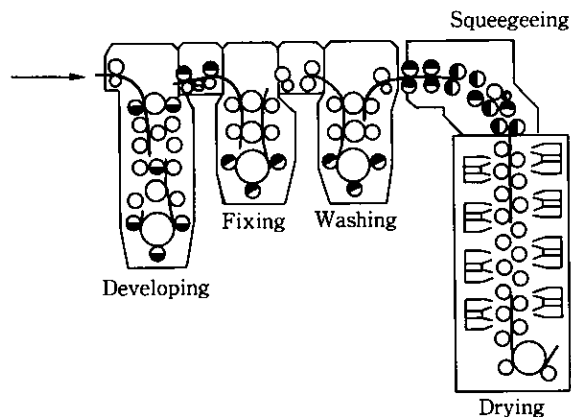


Fig.3 SRX-501 film transport system

上記の行程のうち、最も考え易かつ全体システム開発のポイントであるのは乾燥行程である。なぜならば、この行程に持ち込まれるフィルムの含水量と自現機の乾

燥能力によって、乾燥時間が一義的に決まってしまうからである。自現機の乾燥能力を上げるには乾燥風量の増加や乾燥風温度の上昇という手段があるが、前者は騒音の増加、また後者については消費電力の増加や熱による耐久性の低下などの不都合がある。したがって、自現機では効率の高い新しい乾燥技術の開発を必要とし、そしてフィルムにおいてもできるだけ含水量の低下をはからねばならない。

乾燥行程に配分する時間と乾燥行程に持ち込むフィルムの含水量について、次に示す理論式シミュレーションと、具体的な様々な自現機の使用条件を取り込んだ実験から目標値を設定した。Fig.4の乾燥曲線に示すように乾燥は一定の熱伝達係数が支配する恒率乾燥部と乳剤層中の水分移動が律速の減率乾燥部にわけられる。ここで、四つ切りフィルム一枚あたりの乾燥能力 $R_p$ のシミュレーション式は次のように表せる。

$$R_p = \frac{2.45 \times C \times (v \times \rho_a \times b \times (N/P_a) \times 1800)^{0.78} \times (t - t_w) \times P_a}{L_a \times \gamma_w} \quad (\text{g/四つ切フィルム})$$

C:ノズル形状とフィルム間距離等の係数、v:乾燥風速、 $\rho_a$ :熱風密度、  
b:ノズルスリット幅、N:ノズル本数、t:乾燥温度、 $t_w$ :フィルム表面温度、  
 $P_a$ :乾燥行程距離、 $L_a$ :搬送速度、 $\gamma_w$ :水の蒸発潜熱

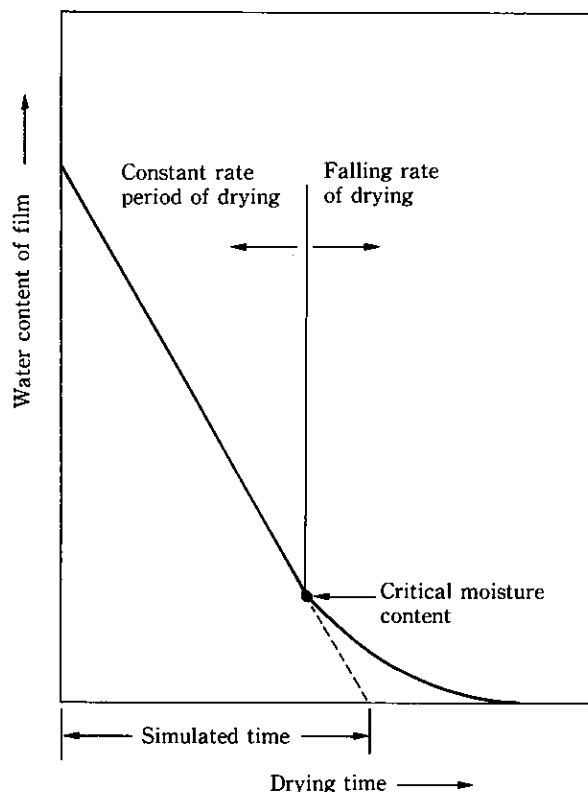


Fig.4 Simulation of drying time of film moisture after squeegeeing

後述するように、熱伝達係数を支配するノズルの形状(式中のC) やその適切な配置(式中のb,N,Pa)の要素技術の開発見込みと、この行程の前のスクイズ行程の基礎研究結果、そしてフィルムの乳剤技術の進歩など総合的に考慮する事により、 $R_p=1.1$  (g/四つ切りフィルム) を目標に設定し、乾燥時間の短縮の技術見通しをたてた。

定着速度を決定する因子は、定着ラック本数や構成そしてフィルムにおけるゼラチンの硬膜度、抑制剤などの添加剤や銀量などと多く、これらを総合的に勘案して開発すべき技術を読み込んだうえで定着時間の短縮の見込みをつけた。

水洗行程については、後述するフィルム乾燥速度を上げるための乳剤層の薄膜化により、この行程の時間の短縮ができる。

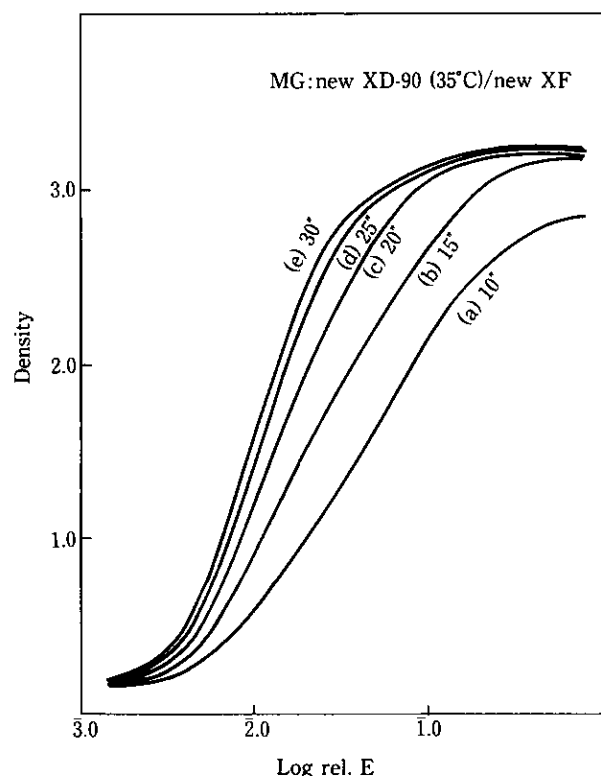


Fig. 5 Characteristic curves of developing times for (a) 10 seconds, (b) 15 seconds, (c) 20 seconds, (d) 25 seconds, and (e) 30 seconds

残された行程は現像処理行程である、Fig.5に90秒処理システムでの現像時間を追ったセンチメートルカーブの変化を示す。通常90秒処理システムでの現像時間は25秒から30秒であるが、この現像時間より短い場合は感度とガンマが低くなる。したがって、現像時間を短縮するためには現像処理速度を極めて高くする必要がある。現像速度を上げるには、例えば処理温度をあげる事で達成できるが粒状性が著しく劣化し、そしてフィルムの膨潤が大きくなって乾燥性が悪くなり、また高速搬送時のスリップが増す。処理剤の活性度を化学的に上げると、その液の耐酸化性と処理の安定性そして画質の劣化を招く。したがって、処理温度は上げずに、現像液の耐酸化性と処理の安定性を保持しながら現像活性度を向上させ、同時にフィルムではできるだけ処理速度を上げ、活性処理における画質の維持をはからねばならない。

全処理行程それぞれについて、開発の考え方をここまで述べてきたが、各行程は各々独立しているのではなく相互に密接に関係している。したがって、この45秒処理システムの設計および開発は、実際には総合的に進める必要があった事を付け加えておきたい。

さらに自現機では、高速搬送のためのラックのローラーの回転速度を単純に上げると、スリップが増してしまい搬送トラブルを起こしてしまうので、高速搬送技術を開発する必要がある。

以上のような45秒処理のシステム設計の考え方にもとづき、フィルム、処理剤そして自現機の開発を行なった。Table 1に本システムの開発における、それぞれの技術をまとめた。つぎにフィルム、処理剤そして自現機と順を追ってその技術について概説する。

## 5 SRフィルム(45秒処理用フィルム)

### 5.1 HMG-SR粒子の開発

90秒処理システムのコニカハイオソMGシリーズでは、オルソ単分散粒子すなわちHMG(Hi-ortho Mono-dispersed Grain) 粒子を用いている。HMG粒子は単分散粒子であるので、ハロゲン化銀粒子の粒径はよく揃っており、微粒子で高感度、そして現像銀はコンパクトで粒状性に優

Table 1 Advanced technologies of SR-films, SR-processing chemicals, and the SRX-501 medical film processor for development of a 45-second system

	SR-films	SR-processing chemicals	SRX-501 processor
Developing speed	• HMG-SR grains	• Enhancement of developing activity	—
Drying speed	• Thinning of emulsion layer and reduction of swelling	—	• Optimum arrangement of roller materials • New drying system
Film feeding speed	—	—	• Optimum arrangement of transportation rollers

れている<sup>6)</sup>。また、従来の多分散乳剤に比べて現像性、定着性に優れている。

45秒処理用として高感度高粒状性を維持しながら同時に現像速度を上昇させるために、HMG粒子の特長をさらに発展させたHMG-SR粒子を開発した。この粒子は多重層構造で、その内部構造をこのシステムに最適となるように設計したものである。すなわち、ハロゲン化銀粒子が光を吸収し潜像核を生成する過程において、粒子表面のエレクトロントラップと粒子表面もしくは粒子内部のホールトラップは重要な働きをする。HMG-SR粒子の内部にホールトラップを形成し、更に溶解性の高い層を粒子表面近くに形成する事により、高感度を維持しながら現像速度が上昇した。また、増感色素の吸着やその凝集状態は粒子の表面の状態が大きく左右され、感光材料を決定する大きな因子である。粒子表面に安定な色素凝集体を形成する層を付与し、高感度微粒子化を進めて高活性な迅速現像処理による画質の劣化を克服した。その他、粒子の単分散性を促進するための層などを織り込み設計した。

Fig.6にHMG-SR粒子の内部構造の概念図を示す。全体として5層構造であるが、粒子内部に増感層、それより外側で粒子表面に近い層に現像加速層を設けた。HMG-SR粒子の断面電子顕微鏡写真をFig.7に示す。5層構造は明確に描出されていないが、増感層は写真では白い部分として粒子内部に認められる。

### 5.2 フィルム膜物性の設計

直接Xレイフィルムは親水性のゼラチン中にハロゲン化銀粒子を分散せしめた乳剤をポリエチレンテレフタレート<sup>7)</sup>の青く着色したベースの両面に塗布したものである。現像、定着そして水洗などの各処理行程で、そのゼラチ

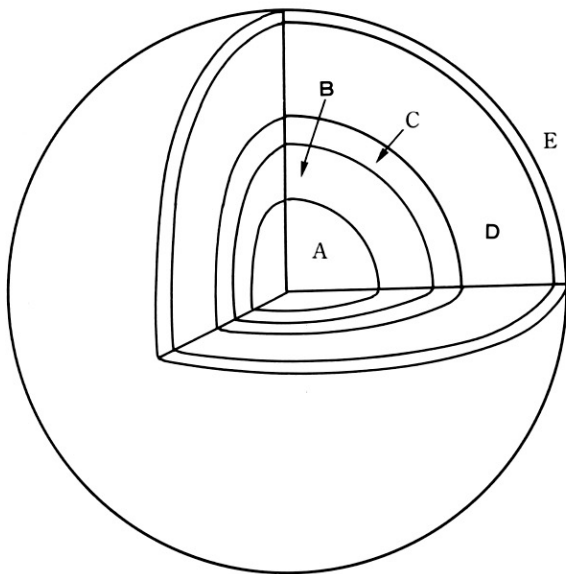


Fig. 6 HMG-SR grain structure, Layer B is a sensitizing layer, and layer D is a development acceleration layer

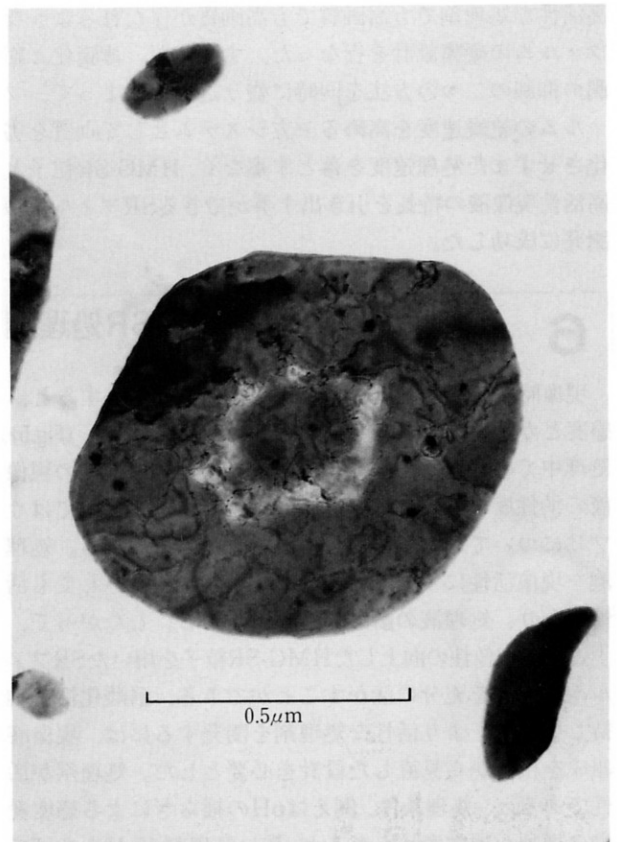


Fig. 7 An electron micrograph of the inside of an HMG-SR grain. The white area is the sensitizing layer.

ン膜が水を吸い込み膨潤する。水洗後にフィルムをスクイズし乾燥する。従って、フィルムの乾燥性を向上するには、この処理中のゼラチンの膨潤をコントロールして含水量を減少する必要がある。

フィルムの含水量を少なくする方法として①ゼラチン量を少なくして薄膜化する。②ゼラチンの硬膜度を高めて膨潤度を抑える、二つの方法がある。薄膜化は同時に処理性（現像性、定着性、水洗性）が向上するが、画質としての粒状性が劣化する。硬膜度を上げると、粒状性は向上するが現像性と定着性は劣化する。この二つの方法はそれぞれ乾燥速度を上げた時に、処理速度と画質にたいして互いに相反する効果をもつ（Table 2）。45秒処理でのシステム設計から要求されるフィルムの含水量を達成するために、現像性を向上させたHMG-SR粒子を用いて、

Table 2 Effects of emulsion layer thinning and layer-swelling reduction on drying speed, processing speed, and image quality

	Drying speed	Processing speed	Image quality
Thinning of layer	↑	↗	↘
Reduction of swelling	↑	↘	↗

高活性な処理剤でも高画質でも高画質が保たれるようなフィルムの硬膜設計を行なった。すなわち、薄膜化と膨潤の抑制の二つの方法を同時に盛り込む事によって、フィルムの乾燥速度を高める一方システムとして画質を劣化させずまた処理速度を落とす事なく、HMG-SR粒子と高活性現像液の特長を引き出す事ができるSRフィルムの開発に成功した。

## 6

### SR処理剤

現像時間を90秒システムの25~30秒より短くすると、感度とガンマが低くなる一方、カブリも低くなる (Fig.5)。処理中でのカブリの上昇を抑制するための、従来の現像液の活性度をおさえた処方設計から、短時間現像ではカブリについて余裕のある活性に処方設計ができる。処理液を現像活性にすると、同時に空気酸化にたいしても活性になり、処理液の耐酸化性が劣化する。したがって、上述した現像性の向上したHMG-SR粒子を用いたSRフィルムの特性を十分に活かすことができる、耐酸化性を維持しながら、より活性な処理剤を開発するには、現像液組成を根本から見直した設計を必要とした。処理剤が活性であると、処理条件、例えばpHの揺らぎによる感度変動の増加が通常考えられるが、逆に処理剤のpHをあげてシステムとしてより活性にする事によって、その変動は小さくなった (Fig.8)。

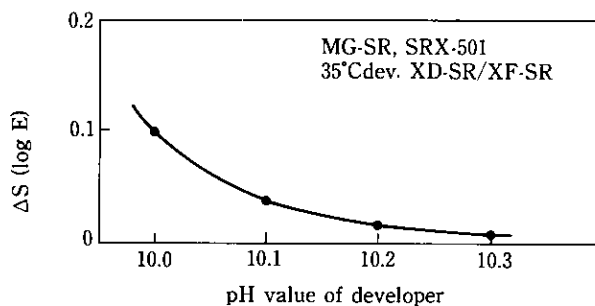


Fig. 8 The deviation of speed ( $\Delta S$ ) in log E caused by fluctuation of pH-value of the developer by  $\pm 0.05$  at each pH value

このように、システムとして従来より短時間の現像に適した液組成設計により、SRフィルムの特性を十分に引き出す事ができる活性なSR処理剤を開発した。

## 7

### SRX-501自動現像機

自現機の処理の超迅速化と多量処理を達成するための基本技術としては、①安定な高速搬送技術②迅速乾燥技術の開発の2点を行なった。更に、自現機の高能力化に伴い、③信頼性の向上と操作性の簡便化も開発の重点項目として盛り込んだ。

### 7.1 迅速乾燥技術の開発

自現機において乾燥速度を上げる手段は、まずフィルムの水洗後のスクイズ能力を向上して、フィルムを持つ水分をできるだけしごき取って乾燥部へ持ち込む水分を少なくする事である。更に乾燥部での強制対流による乾燥能力をいかに高めるかである。

スクイズ能力は一般にフィルムの連続処理とともに低下し、あるレベルで平衡に達する。迅速多量処理を目的とする本機においては、いかに高能力を連続処理で維持するかがポイントである。今回はスクイズ部のローラー材質と各ローラーのスクイズ特性 (Fig.9) をうまく組み合わせ相乗効果によってスクイズ能力を向上する事ができた。

次に、スクイズ後に乾燥部に持ち込まれた水分の乾燥手段に、新規の強制対流乾燥方式を採用する事によって、熱伝達係数の向上を図り乾燥能力を高めた。Fig.10に示すように、ノズルの形状、吹き出し方向、そしてフィルム・ローラー・ノズルの三者の配置の最適化により、エアノズルから吹き出した温風からフィルムへ効率的に熱の伝達を行ない、更にフィルムより蒸発した水分がフィルム近傍で滞留し、乾燥の障害にならないように効果的にその水分を除去する排気孔を設ける事で、迅速乾燥を達成した。

ノズルによる熱伝達係数の改善によって、迅速多量処理でありながら低騒音でかつ従来機より乾燥ヒーター容量を約15%削減し、仕上がりに画質に悪影響のない乾燥技術を確立した。

### 7.2 安定な高速搬送技術の開発

安定な搬送性の向上のために、ローラー搬送でのフィルム搬送力の増加と搬送経路でのフィルム進行に対する

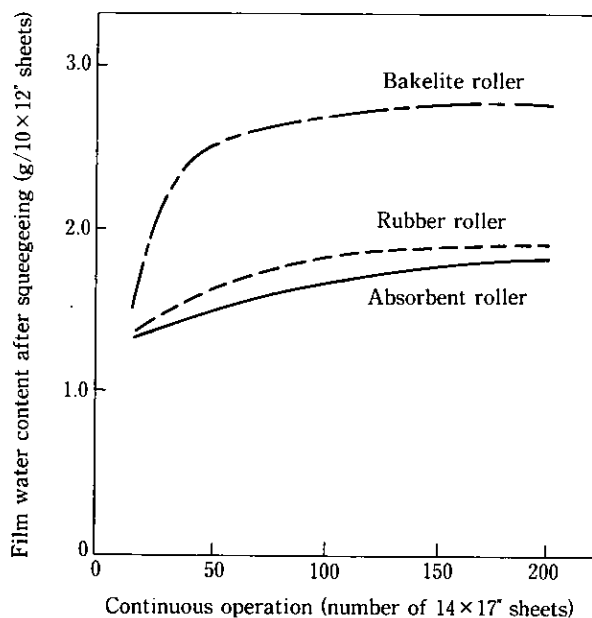


Fig. 9 Differences in film water content among squeegeeing roller materials during continuous operation

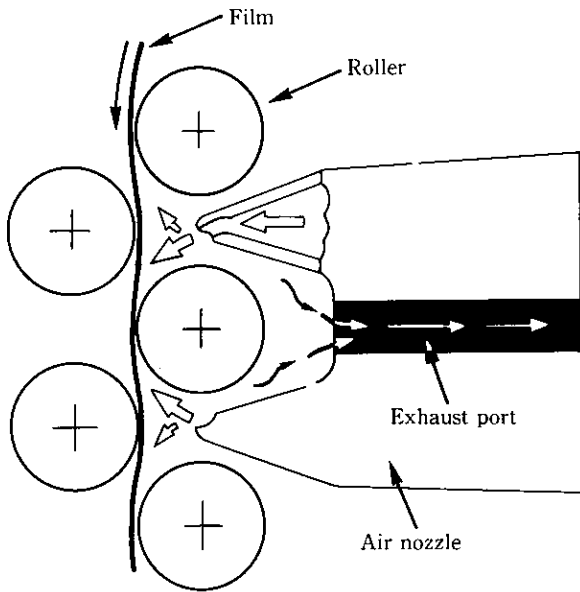


Fig. 10 The SRX-501 drying system

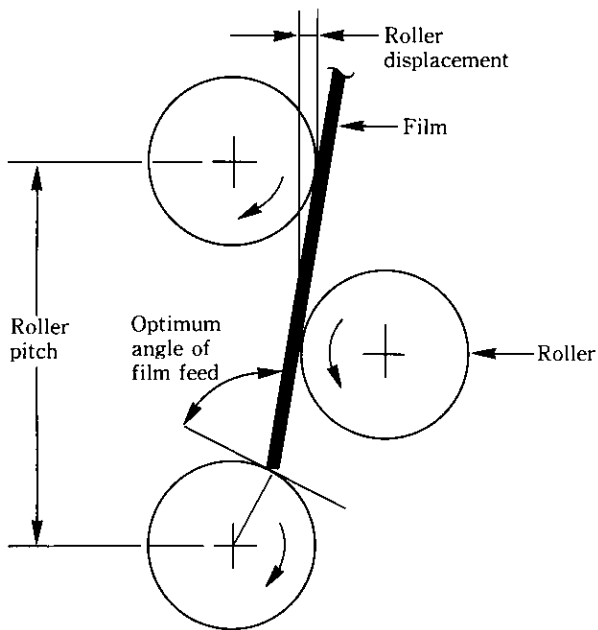


Fig. 11 Film transport system route in a zigzag roller arrangement

抵抗力の低減を行なった。Fig.11 に搬送系の千鳥構成の一例を示す。搬送力を増加させるためにローラー食い込み量を増すと、フィルム進行に対する抵抗は増加する。一方、フィルム進行に対する抵抗を減少させるために、フィルム先端のローラーに当たる角度を小さくすると、搬送力は逆に低下する。この様に、搬送力の増加とフィルム進行に対する抵抗の減少は相反する現象である。更に Fig.3のSRX-501の断面図に示すように、自現機内の搬送経路は各部分で急激に変わる。したがって、ローラー本数、ローラー材質、搬送経路長、搬送速度、当り角度などを

全て考慮した、ローラー配置の最適化によって目標を達成した。その結果、搬送性に起因するローラー対向部でのスリップ跡やフィルム先端によるローラー表面上の引っ掻き跡の転写等の画質劣化の問題を生じる事なく、従来の90秒処理に比較してスリップ率を1/2、すなわち1%程度まで低下できた (Fig.12)

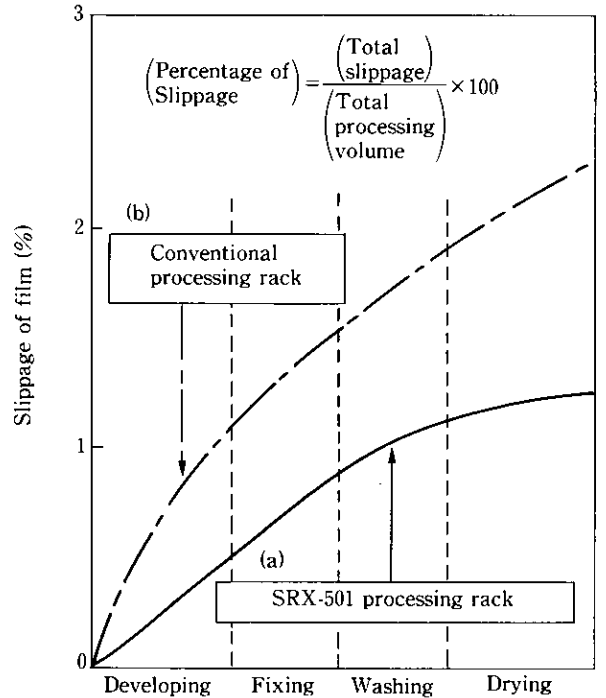


Fig. 12 Slippage of film during transport in (a) the SRX-501 processing rack and (b) a conventional processing rack

### 7.3 信頼性の向上と操作性の簡便化

信頼性の向上を図る為に、駆動系とその部品そしてその他負荷部品の耐久性の向上を行なった。とくに駆動系の部品の材質の検討と寸法精度および、組立精度もアップした。

本機においては、従来の自現機のイメージを一新する液晶パネルを使用した集中管理方式を採用する事によって、操作性を向上した。また従来方式と異なり、処理速度の切り替えがワンタッチで行なえ、同時に処理速度に応じて予め設定した処理温度に自動的に切り替わる。45秒処理以外にも90秒、3分半処理ができる仕様とした。

## 8

### SRシステムの性能

現像処理速度と乾燥速度の向上、さらに高速搬送性について、フィルム、処理剤、自現機と各技術について概説してきた。ここでこれらを組み合わせ、システムとしての性能を示す。

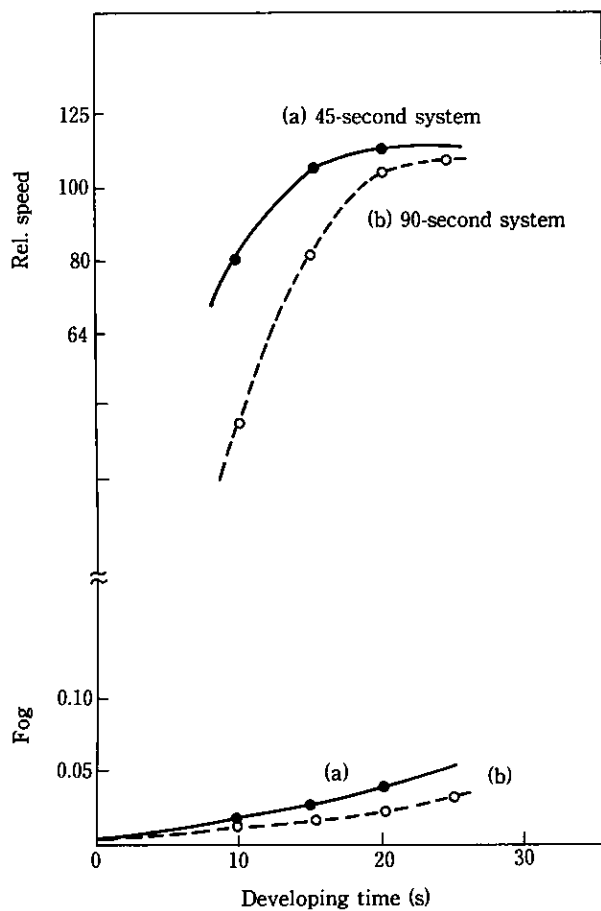


Fig. 13 A comparison of developing speeds for (a) a 45-second system (MG-SR, XD-SR, and XF-SR) and (b) a 90-second system (MG, new XD-90, and new XF)

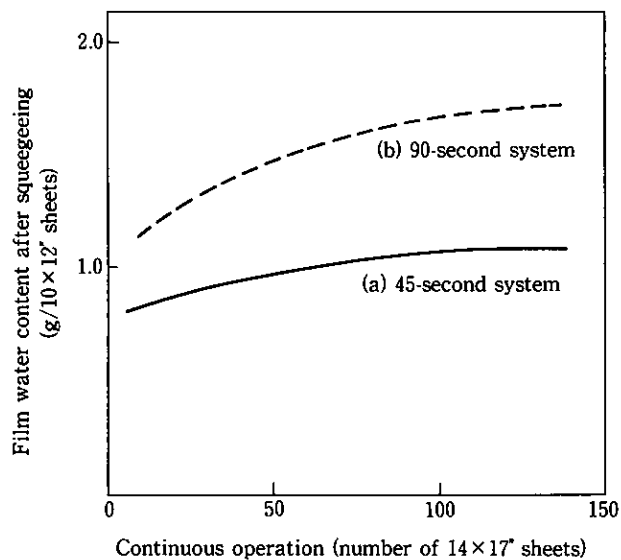


Fig. 14 Comparison of film water content after squeegeeing for (a) a 45-second system (MG-SR, XD-SR, and XF-SR in SRX-501) and (b) a 90-second system (MG, new XD-90, and new XF in KX-500)

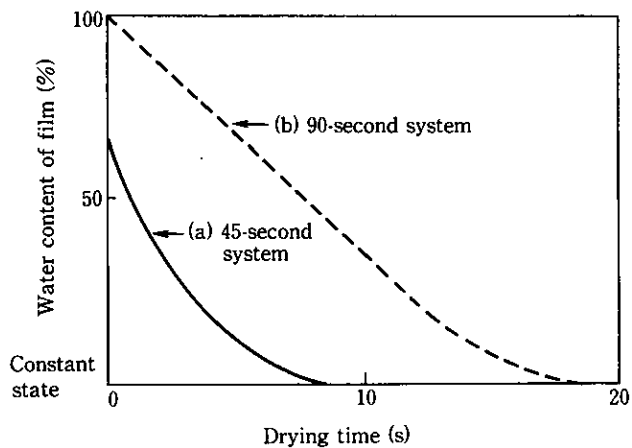


Fig. 15 Water content of film v.s. drying time for a 45-second system (MG-SR, XD-SR, and XF-SR in SRX-501) and (b) a 90-second system (MG, new XD-90, and new XF in KX-500)

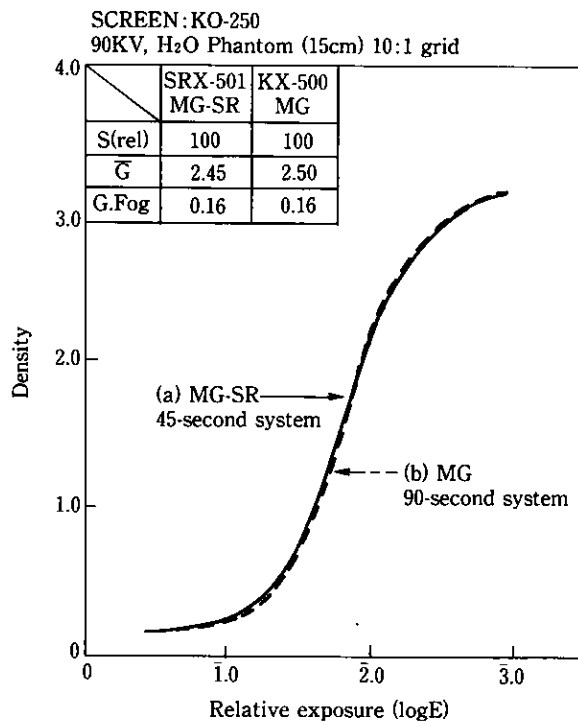


Fig. 16 Characteristic curves of (a) MG-SR in a 45-second system (XD-SR at 35°C and XF-SR in SRX-501) and (b) MG in a 90-second system

まず、現像速度については、45秒処理システムとしてMG-SR (フィルム)、XD-SR (現像液)、XF-SR (定着液)を用い、90秒処理システムとしてはMG、newXD-90、そしてnewXFを用いた時の現像進行性の比較をFig.13に示す。45秒処理システムでは、90秒処理システムよりかなり短い現像時間でほぼ同じ感度が得られる。

また、上記のフィルムと処理剤とを用いて45秒処理システムのSRX-501を用いた時と、90秒処理システムのKX-



500を用いた時の乾燥性のシステムとして比較をFig.14と15に示す。Fig.14は連続処理でのスクイズの効果であって、前節(7-1)で述べたように、各ローラーの組み合わせでシステムとして2~2.5倍の能力の向上ができた (cf. Fig.9)。Fig.15に示される乾燥時間が0でのフィルム含水量はスクイズ後の含水量である。そして乾燥時間の経過にともなう含水量の減少速度は90秒システムより速い。

センシトメリー性能の45秒処理及び90秒処理のシステムとしての比較はFig.16に、またFig.17にMTF(鮮鋭性)の結果、そしてFig.18にRMS(粒状性)の結果を示す。45秒処理と90秒処理でほとんど同じセンシトメリーカーブが得られ、しかも鮮鋭性、粒状性ともに45秒処理のほうが90秒処理よりむしろ良い。このようにシステムとして高画質を維持しながら、現像進行性と乾燥性を向上させ、さらに安定な高速搬送性を実現する事により、45秒処理システムを完成した。

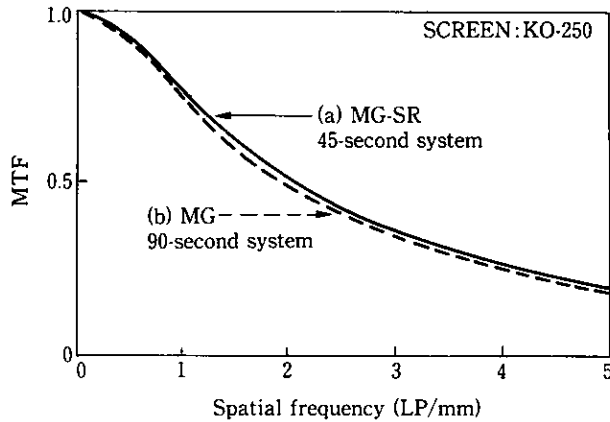


Fig. 17 MTF characteristics of (a) MG-SR in a 45-second system (XD-SR at 35°C and XF-SR in SRX-501) and (b) MG in a 90-second system (new XD-90 at 35°C and new XF in KX-500)

## 9

## むすび

コニカは世界初の医用X線フィルム45秒処理システムを完成した。このシステムはフィルム、処理剤そして自現機からなり、高画質を維持したまま現像速度と乾燥速度とを向上する事により達成した。本システムが血管造影<sup>10)</sup>撮影や救急医療など様々な医療現場でお役にたつことを確信する。そして今後はさらにこのシステムを充実し、なお一層のフィルム画像技術の発展を目指したい。

SCREEN: KO-250  
Aperture size: 100×200 $\mu$

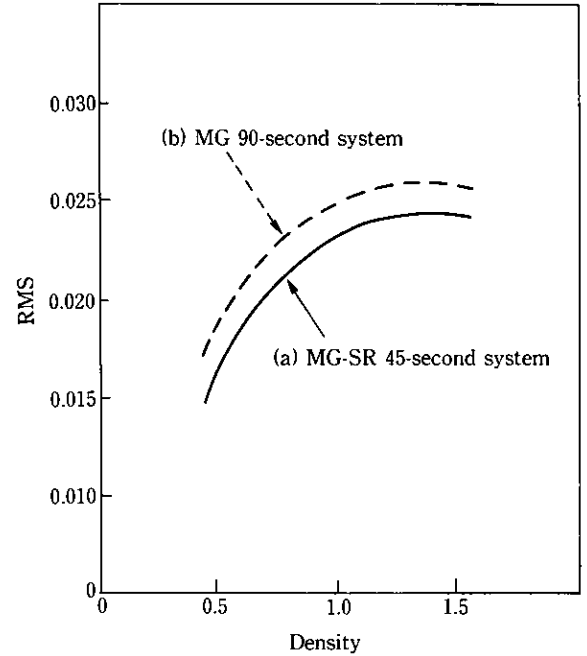


Fig. 18 RMS characteristics of (a) MG-SR in a 45-second system (XD-SR at 35°C and XF-SR in SRX-501) and (b) MG in a 90-second system (new XD-90 at 35°C and new XF in KX-500)

### ●参考文献

- 1) 岩田正俊、小林俊弼、高橋一男：コニカXレイ写真研究、39(1)、52(1988)
- 2) 飯沼 武：Med. Imag. Tech., 6(3)、328(1988).
- 3) 石川直典、鈴木昭男：映像情報、17(1)、100(1985)
- 4) 化学工業年報及び大蔵省通関統計からの推定
- 5) 厚生省大臣官房統計情報部編：昭和61年医療施設調査(動態調査)病院報告
- 6) 岩田正俊、川崎幹男、本田凡：Konica Tech. Rep., 1, 20(1988)
- 7) C. Honda, K. Ueda and A. Suzuki：米国特許, No4, 686, 178(1987)
- 8) 櫻野昭雄、大谷新一、千葉範雄、安藤政和：日本放射線技術学会誌、44(8)、880(1988)
- 9) 佐久間晴彦、松村茂樹、高橋一男、本田凡、岩田正俊：日本放射線技術学会誌、44(8)、881(1988)
- 10) 安間 武、村上 守：第40回日本放射線学会静岡県支部総会研究発表予稿集 p.15(1988)