

コニカ ハイ・オルソ エクセレント・システムの開発

Development of Konica Hi-Ortho Excellent System

佐久間 晴彦*

Sakuma, Haruhiko

Konica's Hi-ortho Excellent System provides medical radiographers with increased information thanks to the screen/film system's low graininess, high sharpness, and high speed. The system embodies two key technologies: a new double-brightness intensifying screen that uses a graded-grain-size gadolinium oxysulfide phosphor layer, and a new half-speed radiographic film with new cross-over cut layers between the emulsion layers and the substrate. Compared to the earlier Hi-Ortho System, the Hi-Ortho Excellent System provides 80% - 100% higher NEQ(at 1c/mm), as well as greater depth resolution in Burger-phantom image evaluation.

1 はじめに

X線は1895年W. K. Röntgenによる発見以来、X線写真撮影システムとして医療診断に活用されており、高感度化・高画質化と共に利便性の向上が図られてきた。X線CTやMRIといった新しい画像診断装置が普及した現在でも蛍光増感紙を用いたX線写真撮影システムは重要な役割を果たしており、一層の高画質化が要望されている。我々は新設計のフィルムと蛍光増感紙の組み合わせにより、大幅な高画質化を実現した新システムを開発したので、その技術と性能を紹介する。

2 開発の背景

1974年に実用化された希土類オルソ蛍光増感紙を用いたオルソシステムは、CaWO₄増感紙を用いたレギュラーシステムより高画質が得られることから普及が進んでいる。近年は、より高画質化のために各社とも主に鮮鋭度の向上を図ってきたが、胸部撮影等では粒状性の改善を指摘されるケースも出ている。そこで我々は今後の高画質化のあるべき方向を探るために、感度およびNEQ (Noise Equivalent Quanta)値がほぼ同等で、粒状度と鮮鋭度の異なる2種類のX線フィルムを使用して画像識別能を比較した。(Fig. 1)

$$NEQ(u) = (\gamma \log_{10} e)^2 MTF^2(u) / WS(u)$$

Burger-phantom撮影では淡い陰影の識別には粒状性が良いシステムの識別能が高く、金属細線を用いて撮影管電圧を変化させた識別能評価では80KVp以上の管電圧で粒状性の良好なシステムの方が識別能が高い傾向を示した。(Fig. 2, Fig. 3) このようなことから胸部撮影や消化管造影など、比較的広い撮影用途で粒状性の改善の方が診断性の向上に寄与が大きいと考え、現行システムの高鮮鋭度を維持して粒状性を大幅に改良させる新システム(Excellent System)の開発を行った。

* 感材生産本部 第2開発センター

	System-A	System-B
Rel. Speed	100	100
Gradient	3.0	3.0
MTF at 1cycle/mm at 2cycles/mm	0.80 0.53	0.72 0.45
WS at 1cycle/mm at 2cycles/mm	7.1×10^{-5} 3.3×10^{-5}	5.1×10^{-5} 2.7×10^{-5}
NEQ at 1cycle/mm at 2cycles/mm	1.5×10^4 1.4×10^4	1.7×10^4 1.3×10^4

(O.D.1.0, at 100KVp)

Fig. 1 Characteristics of systems A and B

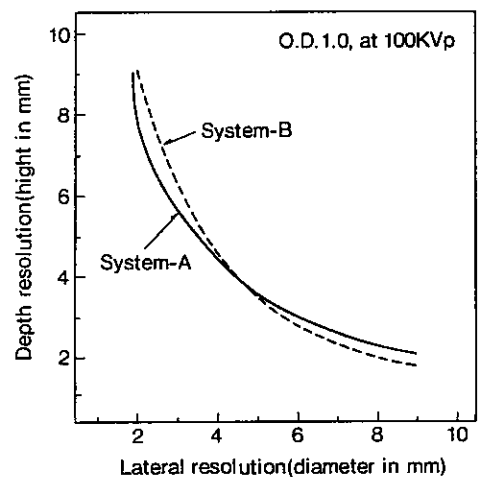


Fig. 2 Depth resolutions and lateral resolutions

illuminator : 7200lux, 7000° K
Room illuminance : 650lux
Number of observations : 8

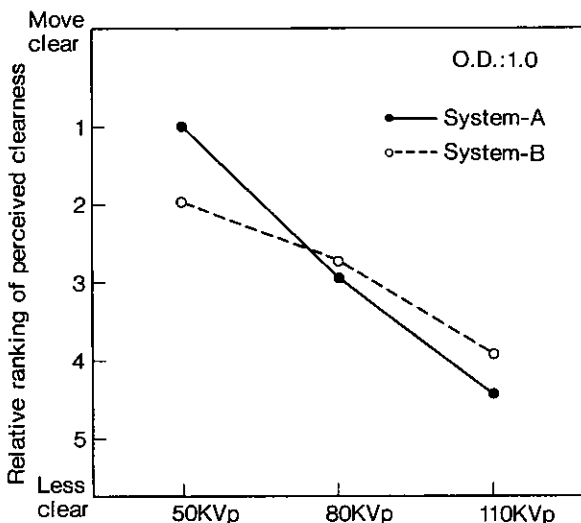


Fig. 3 Discrimination of steel-threads

Diameter of steel-threads:0.2mm
50KVp:with acrylic-board(3cm)
80, 110KVp:with water-phantom(10cm)

3 システムの設計

X線写真の粒状性はX線量子モトル(Quantum mottle)、増感紙構造モトル(Structure mottle)とフィルムの粒状性(Film graininess)が加算されたものである。中でもX線量子モトルの占める割合が大きいことが知られている。¹⁾そのためX線写真の粒状性を大幅に向上させるには蛍光増感紙のX線吸収率を高め、X線量子モトルを低減する必要がある。X線吸収率を高めるためには蛍光増感紙の単位面積当たりの蛍光体量の増量が必要であるが、通常は発光量が増えて鮮鋭度は低下する傾向を示す。

Excellent Systemは蛍光体量の増加によりX線吸収率をアップして発光輝度を高めながら高鮮鋭な新蛍光増感紙の開発と、蛍光増感紙の発光輝度増加分を低感度にし、高鮮鋭で粒状度の良好な新フィルムを組み合わせる設計とした。撮影に必要なX線量を従来と同じとする設計で蛍光増感紙のX線吸収率向上がX線量子モトルの低減に寄与するシステムとした。(Fig. 4)

	Speed	Sharpness	Granularity
Film	● → ○	● → ○	● → ○
Screen	● → ○	● → ○	● → ○
Total system	● → ○	● → ○	● → ○
Comments	Cross-over cut layers and small grains lower speed, but higher screen brightness compensates. Result: Speed maintained.	Higher screen brightness lowers sharpness, but cross-over cut layers compensate. Result: Sharpness maintained.	Smaller film grains and increased screen photon absorption both improve granularity. Result: granularity dramatically improved

● High-Ortho System ○ High-Ortho Excellent System

Fig. 4 System design

4 新蛍光増感紙の技術

新蛍光増感紙(XG-S)はX線吸収率を高めX線量子モトルを低減するとともに、発光輝度を高めるために面積当たりの蛍光体量を多くした。しかし単に蛍光体量を多くすると蛍光体層の膜厚が厚くなり、深部に位置する蛍光体はフィルムとの距離が長くなるため、発光の拡散により鮮鋭度の低下を招く。また、深部に位置する蛍光体の発光は表面に届きにくくなり、蛍光体量に対する蛍光増感紙の表面発光量の低下が生じてくる。

そこで非常に粒径分が広い蛍光体粒子を採用し、発光強度が大きい大粒径の蛍光体粒子程、表面に多く分布させる傾斜粒径構造とした。(Fig. 5)この構造により、表面近傍の発光輝度を増し、発光量を高めた。また、実質的に発光位置とフィルムの距離を縮めることで鮮鋭度を向上した。表面から離れた深部に位置する微粒子の蛍光体は大粒蛍光体粒子の発光を反射して、表面の発光量量を増やす効果を持たせている。この技術により、X線吸収率を高めて粒状性を向上させるとともに、発光輝度アップと高鮮鋭化、を両立した。発光輝度は一般的な蛍光増感紙SRO-250の2倍でSRO-500同等、鮮鋭度はSRO-250に約10%及ばないがSRO-500より約30%向上した。

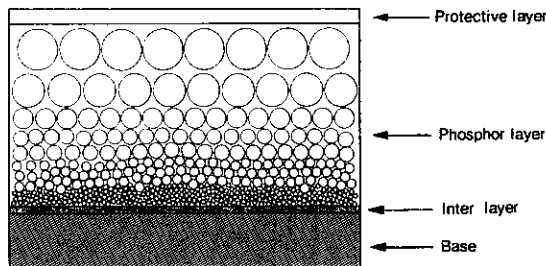


Fig. 5 Construction of new intensifying screen

5 新フィルムの技術

X線写真では量子モトルが写真の粒状性に与える影響度が大きく、少ないX線量で撮影される高圧撮影程、粒状性が劣化することから、高圧撮影が一般的な胸部写真で粒状性を指摘されることが多い。そのため、Excellent Systemでは胸部撮影専用タイプ(SRES-C)と、胸部撮影に適し多用途に使用可能な汎用タイプ(SRES-C)の開発を行った。新フィルムは高感度の増感紙(XG-S)と組み合わせるため、フィルム感度は現行オルソフィルムの1/2とした。鮮鋭度は新蛍光増感紙(XG-S)のMTFがSRO-250に約10%及ばないためMTFを10%向上させ、システムとして鮮鋭度を維持する設計とした。²⁾

5-1 鮮鋭度の向上

X線フィルムの鮮鋭度はPET支持体の両面に乳剤層を有する構造に起因して、露光面からの入射光の裏面乳剤層への到達率でほぼ決定される。そのためフィルムの鮮鋭度を向上させるためには、入射光が裏面乳剤層に到達する(クロスオーバー光)量を低減させることが必要になる。

これまでの蛍光増感紙の発光を有効に吸収する分光増感技術によってクロスオーバー光低減と高感度化を両立してきたが、この方法はクロスオーバー率20%前後までの低減に有効であった。³⁾クロスオーバー率をより小さくするには乳剤層の下層にクロスオーバー光をカットする層を設ける方法が有利になる。

新フィルムには、感光性乳剤層の下に新蛍光増感紙のメイン発光波長(545nm)をシャープに吸収するクロスオーバーカット層を設けた。これにより鮮鋭度を大幅に向上させ、新增感紙との組み合わせで現行システム同等の高鮮鋭度を維持した。フィルム総膜厚はこれまでの超迅速フィルムと同等の薄膜構成とした。(Fig. 6)

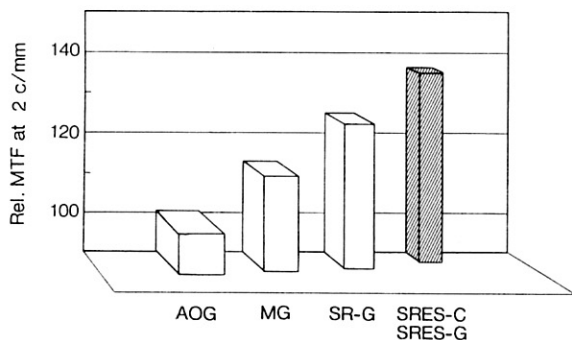


Fig. 6 Trend in ortho-film MTF

5-2 特性曲線形状の設計

胸部診断には、肺野と縦隔・心陰影といったX線透過率が大きく異なる部位を描写できる広いラチチュードを有することが好ましい。一方で近年増加傾向にある肺癌は末梢発生の早期発見が課題とされており、末梢血管の描出性を高めるために肺野部は高コントラストであることが求められている。そのため当社の胸部用フィルムは従来から全体に軟調な特性とはせず、主に肺野を描写する中・高濃度領域は汎用フィルム並のコントラストで濃度約1.0以下からを低コントラストにして縦隔・心陰影も描写できるラチチュードを持たせる設計としてきた。

また肺血管を鮮明に描写するために、肺野部に約75%の重なりを持つ⁴⁾助骨陰影を目立ちにくくする高圧撮影が適していると考えている。そのため管電圧120KVp以上の高圧撮影に適する特性曲線形状とする設計を行ってきた(MGC, SR-C)

新システム用フィルムもこの設計思想を継承して設計した。特徴は以下の通りである。

SRES-C (胸部用)

- ① 末梢血管をより鮮明に描写するために濃度0.6から1.6の範囲は標準タイプ(SR-G)と同等の高 γ 設計。
- ② 縦隔・心陰影部も描写するラチチュード確保のため濃度0.6以下は軟調でカブリまで連続的な階調設計。
- ③ 露光量がオーバー気味でも潰れにくく、ルーチンでの使い易さを付与するために、濃度1.6以上からは序々に軟調にする設計。(Fig. 7)

SRES-G (汎用タイプ)

- ① 消化管造影や骨撮影における鮮鋭度を向上させるために、濃度0.6以上は標準タイプのSR-G同等以上の高 γ とする設計。
- ② 縦隔・心陰影部も描写できるように、濃度0.6以下はSR-Gより軟調でラチチュードを広げる設計。(Fig. 8)

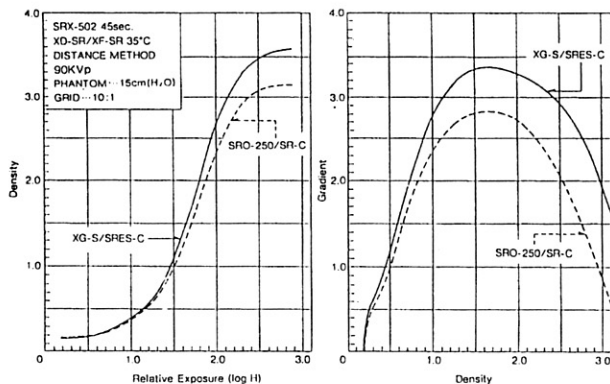


Fig. 7 Characteristic and gradient curves of SRES-C

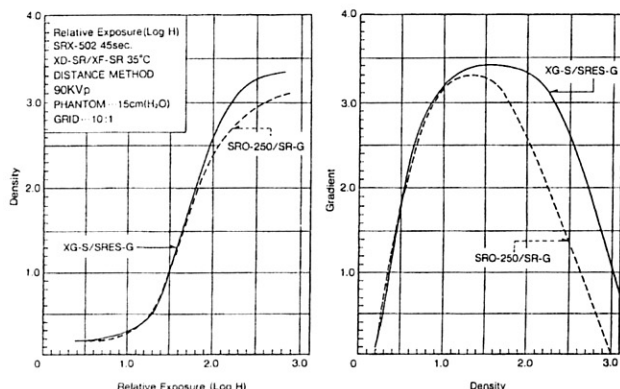


Fig. 8 Characteristic and gradient curves of SRES-G

5-3 ハロゲン化銀粒子技術

新フィルムは、特性の異なる単分散粒子を混合して所望の特性を設計するHMG技術⁵⁾を応用し、前項記載の特性曲線形状を得ている。HMG技術は粒状性の向上や銀画像色調のコントロールにも用いている。

低濃度部を形成し、写真の粒状性大きな影響を与える大粒径・高感度のハロゲン化銀粒子には球形粒子を使用した。中・高濃度部を形成する小粒径粒子にはCovering Powerの点で有利な平板状粒子を使用した。

大粒径・高感度粒子を球形粒子にすることで、小粒径粒子と同様の平板状粒子とした場合に比較して投影面積を約1/3に低減し、粒状性を向上させた。

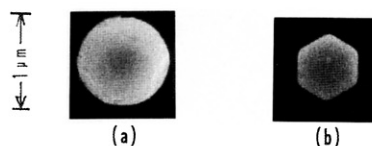


Fig. 9 Electron micrographs of high speed grain (a) and low-speed grain (b)

ハロゲン化銀粒子の構造は現像促進と現像銀色調向上のために表面近傍を内部より低 AgI とする構造にした。これにより超迅速処理でも安定した写真性能と、黄色味少ない銀画像を得た。また、前項に記載した大・小2種類のハロゲン化銀粒子は可視光領域の散乱が少ない形状とし、さらにフィルムの硬膜度を高めることで現像銀をハロゲン化銀粒子に近い形状を保ち、可視光散乱を抑えてクリーンな銀画像が得られる設計とした。^{6) 7)}

6 新システム画質

新フィルム (SRES-C, SRES-G) と新增感紙 (XG-S) を組み合わせた Excellent System の画質を、同じシステム感度を有する現行システムと比較した。

Excellent System は現行システムと同等の高鮮鋭度を維持しながら大幅な粒状性向上を達成している。NEQ は 80-100% 向上しており、大幅な画質向上を確認した。DQE (Detective Quanta Efficiency) も同様に向上している。(Fig. 10)

更にこの物理評価の結果が、画像識別能の向上に反映されているかを Burger phantom 撮影により官能評価で確認した。その結果 Excellent System は、特に厚みの識別能 (Depth resolution) の向上が著しいことを確認した。

このことは先に述べたように、粒状性の向上は淡い陰影の識別に有効であることを裏づけている。

(Fig. 11, Fig. 12)

	XG-S/ES-C	SRO250/SRC	XG-S/ES-G	SRO250/SRG
Rel.Speed	100	90	100	100
Gradient	2.8	2.4	3.2	3.2
MTF at 1c/mm at 2c/mm	0.76 0.51	0.73 0.51	0.76 0.51	0.74 0.51
WS at 1c/mm at 2c/mm	2.9×10^{-5} 1.7×10^{-5}	3.8×10^{-5} 2.5×10^{-5}	3.1×10^{-5} 1.8×10^{-5}	5.2×10^{-5} 3.2×10^{-5}
NEQ at 1c/mm at 2c/mm	2.94×10^4 2.26×10^4	1.52×10^4 1.13×10^4	3.59×10^4 2.79×10^4	2.03×10^4 1.56×10^4
Rel.DQE at 1c/mm at 2c/mm	145 145	67 65	177 179	100 100

(O.D.:1.0, at 120Kvp)

Fig. 10 Image quality of Hi-Ortho Excellent System

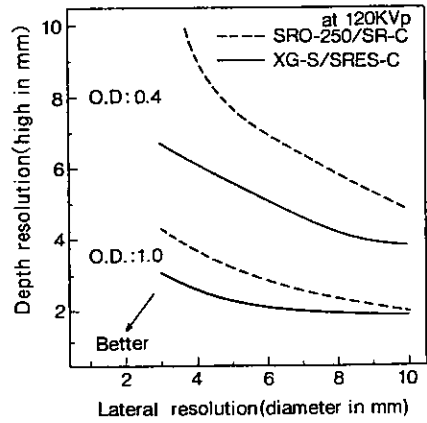


Fig. 11 Depth resolutions and lateral resolutions of XG-S/SRES-C and SRO-250/SR-C

Illuminator : 7200lux, 7000° K
Room illuminance : 650lux
Number of observations : 8

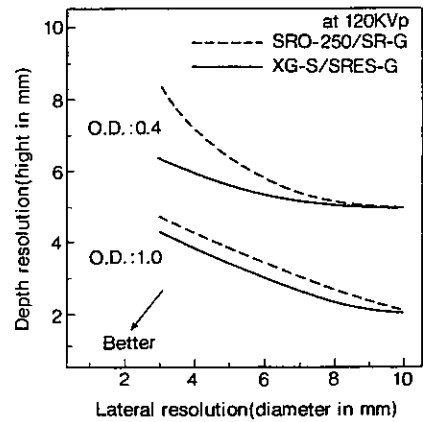


Fig. 12 Depth resolutions and lateral resolutions of XG-S/SRES-C and SRO-250/SR-G

Illuminator : 7200lux, 7000° K
Room illuminance : 650lux
Number of observations : 8

7 むすび

医用 X 線写真の画質を大幅に向上させた Excellent System を完成した。このシステムは現行のフィルム・増感紙システムと同様に使用することができ、高画質化を達成した。今後、様々な医療現場で診断性の向上に貢献できるものとする。更にシステムを充実して、より広い用途への普及を目指したい。

●参考文献

- 1) 土井邦雄, 大頭仁夫: 応用物理, 35(11), 805(1966)
- 2) G. K. Sanderson, H. M. Cleare:
Photogr. Sci. Eng., 18(3), 251(1974)
- 3) 目時郁, 佐久間晴彦, 他 2 名:
日本放射線技術学会雑誌, 46(8), 1084(1990)
- 4) 曾根脩輔, 他 7 名: 臨床画像, 10(2), 6(1994)
- 5) 岩田正俊, 川崎幹男, 本田凡: Konica Tech. Rep., 11, 20(1988)
- 6) T. H. James: The Theory of
the Photographic Process, 4th Ed., p584(1977)
- 7) 石丸信吾, 他 5 名: 日本写真学会誌, 55(3), 175(1992)