

歯科口腔内撮影用フィルムの物理的特性

——特性曲線とMTFおよびオルソタイプフィルムとの比較——

石塚真澄, 大石幹雄*, 佐々木正臣**

東北大学歯学部附属病院 放射線室

*東北大学医療技術短期大学部 診療放射線技術学科

**県立こども病院

The Physical Characteristic of Dental Film

——Characteristic Curve, MTF and Comparison with Ortho Type Film——

Masumi ISHIDUKA, Mikio OHISHI* and Masaomi SASAKI**

Department of Radiology, Tohoku University Dental Hospital

**Department of Radiological Technology, College of Medical Sciences, Tohoku University*

***Miyagi Children's Hospital*

Key words : dental film, distance method, characteristic curve, MTF, absorbed dose

This study is to make clear the physical characteristics of conventional dental films that was not had many reports.

The characteristic curves of the dental film were measured by the distance method that is the basic method for general x-ray film. Before measurement, the scatterings about characteristic of dental film were confirmed to be as the same as general x-ray film.

Then we evaluated the two kinds of dental film's sensitivity and Modulation Transfer Function (MTF) values that were measured by using a rectangle wave chart method. And we compared the absorbed dose of dental film with two sorts of ortho type film systems. One of them is used front screen and the other has no screen.

The dental film was inclined to very high sensitivity at the high exposure domain. The MTF value at 10 LP/mm was 0.78 in Ultra speed film and 0.55 in Insight film. It was very high sharpness compared with the ortho type film systems. The absorbed dose of the dental film to the ortho type film with front screen was about 30 times and to that with no screen was about 1/30.

Those finding indicated that the dental film is peculiar medical film not using screen system.

Recently digital image that makes use of imaging plate or charge-coupled-device has taken the place of conventional x-ray film on medical imaging. On department of dentistry, digital image has also become popular gradually. From now on we have to consider the quality of digital image for dental, because the dental film has higher sharpness than the conventional medical film.

はじめに

1895年、RöntgenによってX線が発見されて間もなく、Walkoffらはガラス乾板を用いて歯のX線像を撮影している。1920～1930年代には、歯科用のX線装置およびフィルムが現在のGE社、Kodak社から発売されている。日本での歯科領域におけるX線の利用は、アメリカよりやや遅れて始まり、1909年には遠藤によって「歯科診断上におけるX線の価値について」が報告されている。1914年には、東京歯科医学専門学校にレントゲン室が設けられてX線診療が、また1930年前後から国産の歯科用X線装置が、開発され始めている¹⁾。

1950年以降は、線量軽減のための研究がなされるようになり、X線装置の改良、フィルムの高感度化、高コントラスト化が図られている。1980年以降、フィルムに代って、イメージングプレート(IP)を用いたデジタル撮影装置が開発され、臨床に適用されるようになった。現在、医科領域ではデジタル画像が主流となりつつあるが、歯科領域の口腔内撮影では、IPなどのセンサーを口に挿入するため、その利用を困難にしている。また歯槽における微小な病変の観察には、鮮鋭度の高い画像が要求されるため、デジタル化に伴う画質の低下が問題となっている。したがって、現時点における口腔内撮影は口腔内撮影用フィルム(以下デンタルフィルム)によるアナログ撮影がその多くを占めている。

そこで口腔内デジタル画像の画質低下を検討する前に、デンタルフィルムの物理的特性を明らかにしておくことが必要であるが、それらの報告は極めて少ない^{2)～4)}。

本実験では、一般X線フィルム(フィルム/スクリーンシステム)の特性測定に準じた方法を用いて、デンタルフィルムの感度、鮮鋭度など物理的特性を測定することとした。本研究では、それらの結果から、デンタルフィルムの基礎的特性を検討したので報告する。

1. 目 的

本実験は、デンタルフィルムの物理的特性を測定する方法の考案と、それを用いて比感度、変調伝達関数(Modulation Transfer Function: MTF)、平均階調度などを測定し、デンタルフィルムの物理特性を評価する^{5),6)}。また、デンタルフィルムの特異性をより明らかにするため、オルソタイプフィルムとの特性比較を行う。

2. 方 法

1) デンタルフィルムの特性測定

デンタルフィルムの物理的特性測定は、フィルム/スクリーンシステムの測定方法である距離法、矩形波チャート法で行うこととした。専用のフィルムホルダーを作成し、数枚のデンタルフィルムを一連に並べることで一枚のフィルムに相当させた。

(1) 測定試料の標本(Sampling)

測定試料とするデンタルフィルムは、同一Lot numberのパッケージから任意に20枚ずつ5組を抽出し、一組目はフィルム一枚につき5ポイントのベース濃度を測定し、その平均値をとり、残りの4組にはそれぞれX線を曝射(インバータ式X線装置DHF-155H II: HITACHI社)し、恒温槽(TXP118: 精光社)で同時現像後、拡散濃度計(DENSITOMETER MODEL301 RS: FUJIFILM社)を用いて写真濃度を測定した。また、オルソタイプフィルム(直接用X線フィルムSR-G: Konica社)は、6切りフィルム4枚を使用しX線曝射を行い、任意の20ポイントを抽出して濃度測定を行った。デンタルフィルム、オルソタイプフィルム、それぞれ20ポイントの濃度値に対し記述統計を求め、その変動係数について対応のない2群の検定(Student *t* 検定)を行った。これらの統計処理は市販パッケージソフトStatView Version 5を使用した。前述のベース濃度からは同一Lot numberでのデンタルフィルム個々のばらつきについて、対応のない2群の検定からはカットされたデンタルフィルムと一枚のシートであるオルソタイプフィルムの濃度値のばらつきの

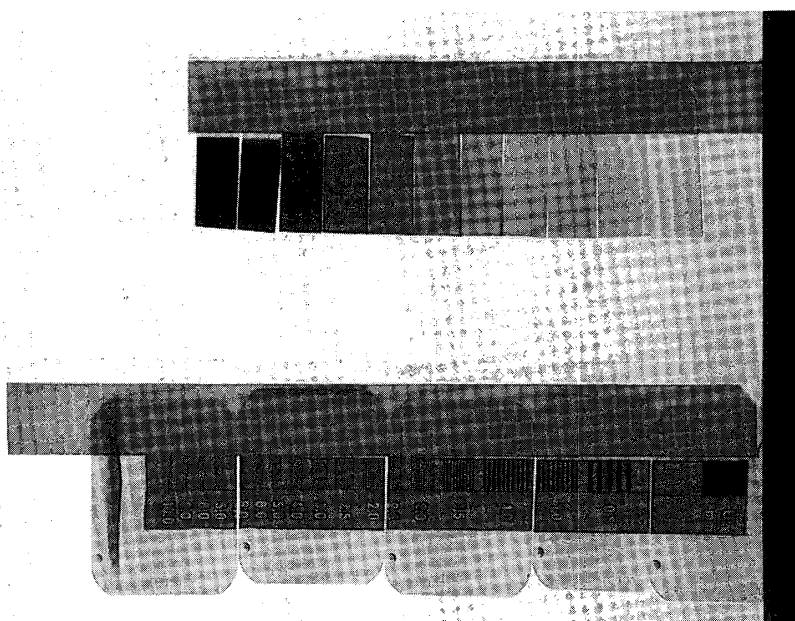


図1. 短冊シート

差を比較した。

(2) 特性曲線の作成

a) 試料の作成

測定試料は、感度の異なる2種類のデンタルフィルム (Ultra speed DF-57, Insight IP-22: Kodak 社) をそれぞれ10枚使用して作成した。デンタルフィルム10枚を横一列に並べられるよう、距離法移動コントローラー台車にホルダーを張り付け、一枚のシート状フィルムに相当させた。

b) 距離、撮影条件の設定

各段数の距離は、段数間の露光量差 (対数表示で $\Delta \log H$) を $\Delta \log H = 0.15$, 1段目の距離を $D = 44.5$ cm とし、以下距離の逆2乗則により10段まで求めた。

撮影条件は、距離88.9 cm で濃度が $D \approx 1.0$ になるよう、Ultra speed フィルムは70 kV, 100 mA, 0.05 sec, Insight フィルムは70 kV, 80 mA, 0.05 sec に設定した。

c) 測定

試料を自動現像機 (LEVEL360: フラット社) で現像後、マイクロデンシトメーター (SAKURA DENSTMETER: Konica 社) で計測するため、短冊にした各段のフィルムを図1に示すような

シート上に貼付けた。

(3) MTF 測定

a) 試料の作成

測定試料は、デンタルフィルムを5枚並べて作成した。フィルムをフィルムホルダーに入れ、チャート像が各フィルムに垂直になるよう、矩形波チャート (X線テストチャート Type 1: 化成オプトニクス社) をホルダーに貼り付けた。散乱線の影響を防ぐため、1 cm 幅のスリット状にカットした鉛板をチャート上に置いて撮影した。図2はフィルムをフィルムホルダーに入れた状態と鉛板を示す。

b) 撮影条件

撮影条件は、チャートの窓濃度が $1.0 \leq D \leq 2.0$ になるように、Ultra speed フィルムは85 kV, 100 mA, 0.32 sec, Insight フィルムは85 kV, 100 mA, 0.1 sec に設定した。距離はヒール効果と散乱線の影響を考慮し、施設の限界である180 cm とした。

c) 測定

試料は、各フィルムをシート上に貼り付け、マイクロデンシトメーターを使用し測定した。各周波数の高濃度の $D(u)_{high}((u): \text{空間周波数})$, 低

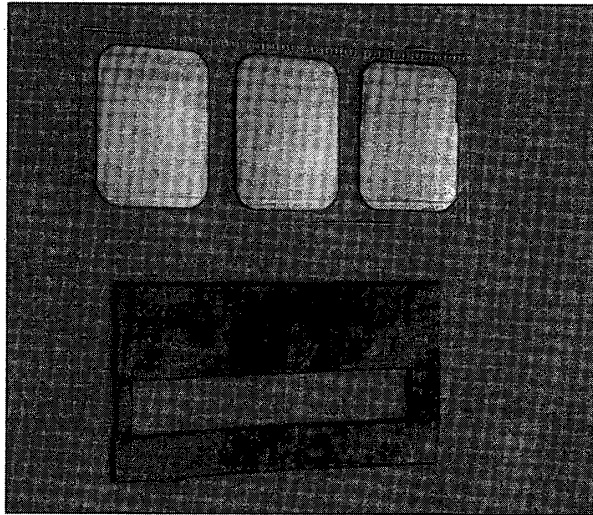


図2. フィルムホルダーと鉛板

濃度の $D(u)_{low}$ を読み取った。試料の測定は3回行いその平均値を求め、先に作成した特性曲線から濃度 $D(u)_{high}$, $D(u)_{low}$ を有効露光量 $H(u)_{high}$, $H(u)_{low}$ に変換した。

各周波数の出力コントラストは、次式を用いて求め、矩形波 MTF を作成した。

$$C'(u) = \frac{(H(u)_{high} - H(u)_{low})}{(H(u)_{high} + H(u)_{low})}$$

さらに、矩形波 MTF は Coltman の換算式を用いて正弦波 MTF に変換した。

(4) 比感度、平均階調度

比感度および平均階調度は、感度の異なる2種類の Ultra speed および Insight フィルムについて求め、比較した。

2) オルソタイプフィルムの特性測定

オルソタイプフィルムの特性測定は、デンタルフィルムと同じ方法で行った。

(1) オルソタイプフィルム/ノンスクリーン

試料は、オルソタイプフィルムをデンタルフィルムサイズにカットし作成した。カットしたオルソタイプフィルムは、デンタルフィルムと同じ状態でパッケージ（デンタルフィルム用包装）につめ、遮光のため黒いビニールテープで封をした。特性曲線はこのフィルムを用い、デンタルフィルムと同じ距離法で作成し、MTF を求めた。

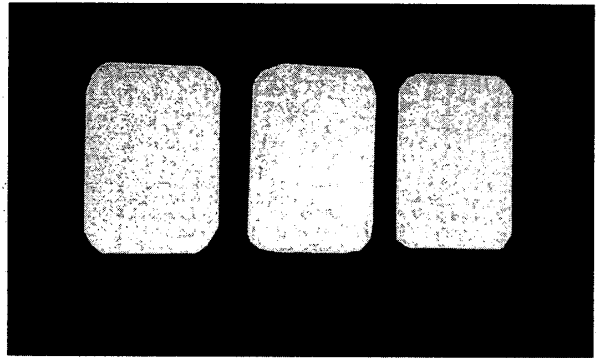


図3. カットした増感紙

撮影条件において、距離法では 70 kV, 200 mA, 0.63 sec, チャート法では 90 kV, 200 mA, 4.0 sec に設定した。

(2) オルソタイプフィルム/フロントスクリーン

増感紙は、図3に示すようにデンタルフィルムサイズにカットし、フィルムとともに包装用パッケージにつめ撮影、測定した。ただし、距離法の段数は増感紙の特性を考慮し、前述の方法より3段増やし13段とした。撮影条件は、距離法が 70 kV, 63 mA, 0.002 sec, チャート法は 90 kV, 100 mA, 0.0063 sec に設定した。

3) 線量測定

デンタルフィルム、オルソタイプフィルムについては同一濃度を得る線量を測定し、比較を行った。また、デンタルフィルム2種類については、特性曲線の1段目から5段目（直線部分に相当）の条件での線量測定を行った。実際の口腔内撮影条件で線量測定を行い、特性曲線からその露光量を推定した。

3. 結 果

1) デンタルフィルムの特性

(1) 測定試料の標本 (Sampling)

同一 Lot number パッケージから任意に抽出した20枚のフィルムベース濃度は、0.16 とすべて同じ値を示した。

曝射後のデンタルフィルム、オルソタイプフィルムの濃度値に対し行った統計解析は、表1, 2に示す。

表 1. 記述統計

	オルソタイプ 1	オルソタイプ 2	オルソタイプ 3	オルソタイプ 4	デンタル 1	デンタル 2	デンタル 3	デンタル 4
平均値	2.315	2.211	2.216	2.311	1.144	1.121	1.101	1.093
標準偏差	0.017	0.009	0.011	0.018	0.011	0.011	0.011	0.006
標準誤差	0.004	0.002	0.003	0.004	0.002	0.003	0.002	0.001
列数	20	20	20	20	20	20	20	20
分散	2.892E-4	8.316E-5	1.292E-4	3.082E-4	1.200E-4	1.253E-4	1.147E-4	3.026E-5
変動係数	0.007	0.004	0.005	0.008	0.01	0.01	0.01	0.005

表 2.

① *F* 検定

名義変数	分散比	分子自由度	分母自由度	<i>F</i> 値	<i>P</i> 値
オルソタイプ, デンタル	0.533	3	3	0.533	0.6186

② Student *t* 検定

名義変数	平均値の差	自由度	<i>t</i> 値	<i>P</i> 値
オルソタイプ, デンタル	-0.003	6	-1.777	0.126

(2) MTF 値および比感度, 平均階調度

図 4 に Ultra speed フィルム, Insight フィルムの MTF を示す。Ultra speed フィルムは 4 LP/mm まで MTF 値の減少は少なく, 5 LP/mm で MTF 値が 0.86, 10 LP/mm で 0.78 を示した。Insight フィルムは漸次的に右下がりとなり, 5 LP/mm で MTF 値が 0.76, 10 LP/mm で 0.55 を示した。

図 5 は両者を同一条件で撮影したときの特性曲線である。Insight フィルムの Ultra speed フィルムに対する比感度は, RS=134.9 であった。平均階調度において, Ultra speed フィルムは $\bar{G}=2.46$, Insight フィルムは $\bar{G}=2.63$ であった。

2) オルソタイプフィルムとの特性比較

(1) 平均階調度, MTF 値

図 6 は各フィルムシステムの特性曲線であり, 図 7 は図 6 をもとに作成した MTF である。平均階調度 (\bar{G}) は, Ultra speed フィルムが $\bar{G}=2.46$, Insight フィルムが $\bar{G}=2.63$, オルソタイプフィルム/フロントスクリーンが $\bar{G}=2.53$, オルソタイプ

フィルム/ノンスクリーンが $\bar{G}=1.36$ であった。図 7 において, 5 LP/mm での MTF 値は Ultra speed フィルムが 0.86, Insight フィルムが 0.76, オルソタイプフィルム/フロントスクリーンが 0.03, オルソタイプフィルム/ノンスクリーンが 0.1 であった。

(2) 画像の比較

各フィルムシステムの画像を図 8 から図 11 に示す。デンタルフィルムでは第 2 大臼歯遠心に齶蝕が見られるが, オルソタイプフィルム/フロントスクリーンでは明瞭に描出されていない。また, デンタルフィルムは, オルソタイプフィルム/ノンスクリーンに比べても高鮮鋭性, 高コントラストであり, その特性は歯冠部において特に明らかである。

3) 線量測定

線量測定の結果は表 3 から表 5 に示す。

(1) 距離 88.9 cm, 濃度 $D \div 1.0$ の条件で測定

同じ濃度を得るのに, Insight フィルムは Ultra speed フィルムより約 50 μ Gy, 線量が軽減され,

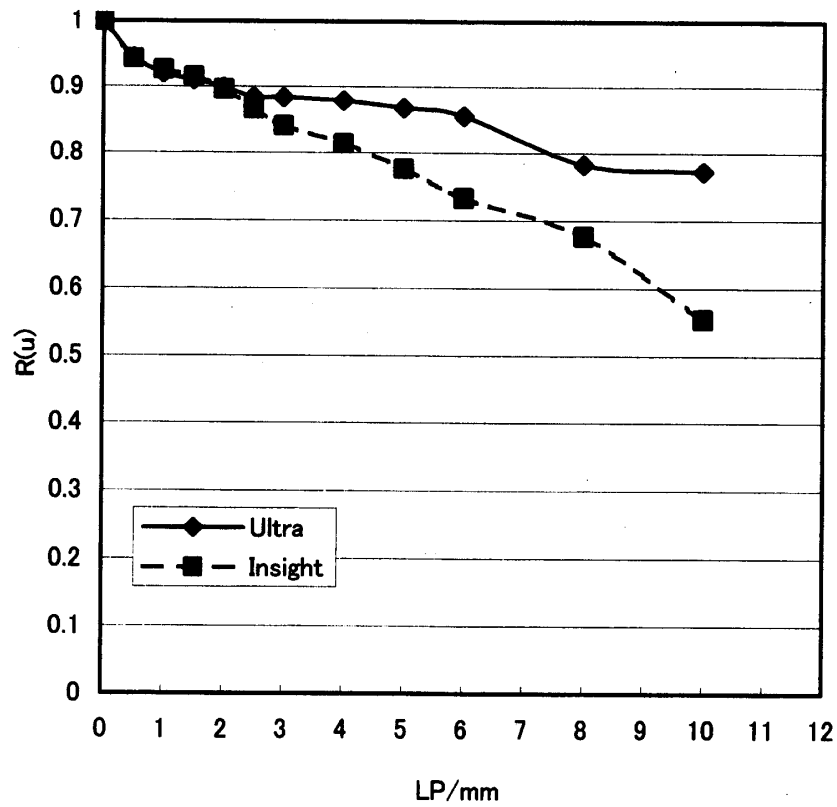


図 4. Ultra speed, Insight の MTF

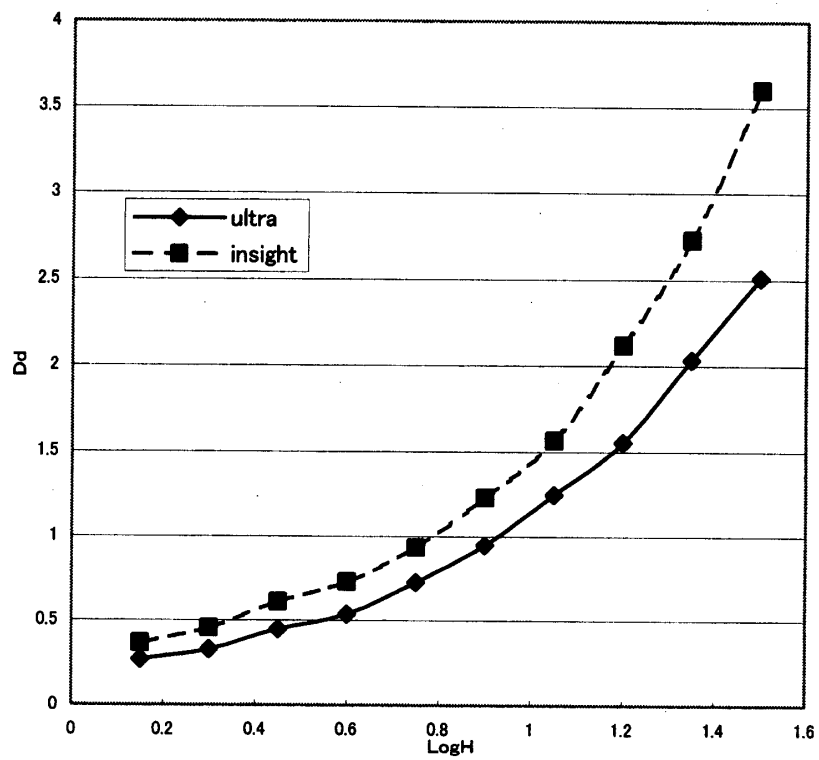


図 5. Ultra speed, Insight の特性曲線

歯科口腔内撮影用フィルムの物理的特性

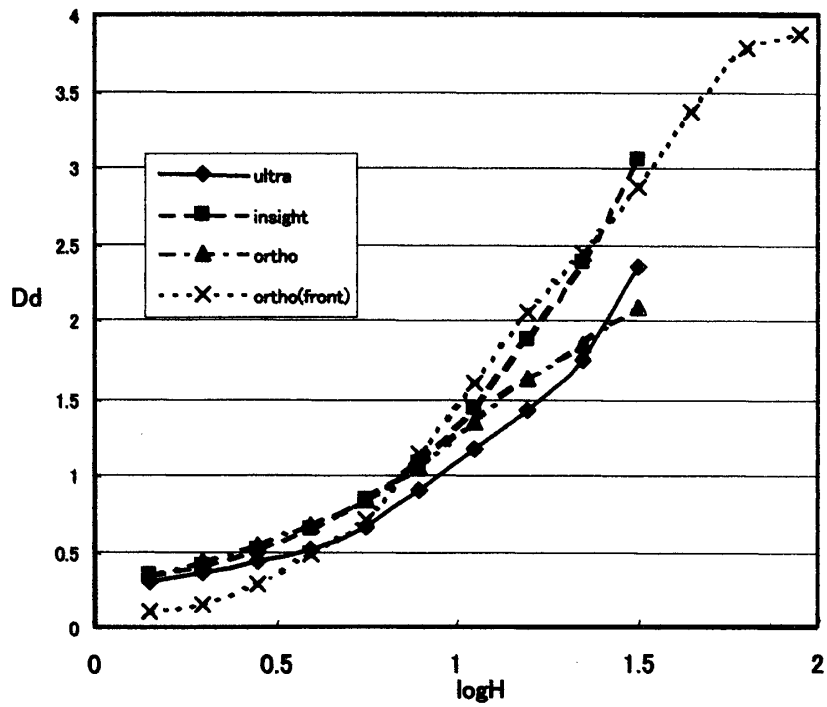


図 6. 特性曲線比較

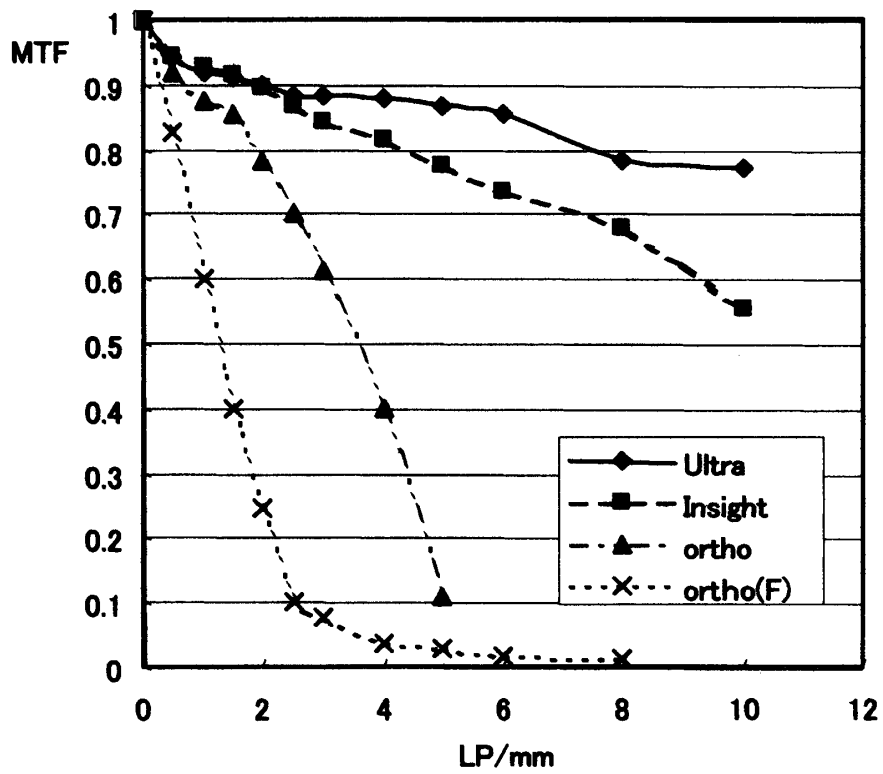


図 7. MTF 比較



図 8. Ultra speed 画像



図 9. Insight 画像



図 10. オルソタイプ/ノンスクリーン画像

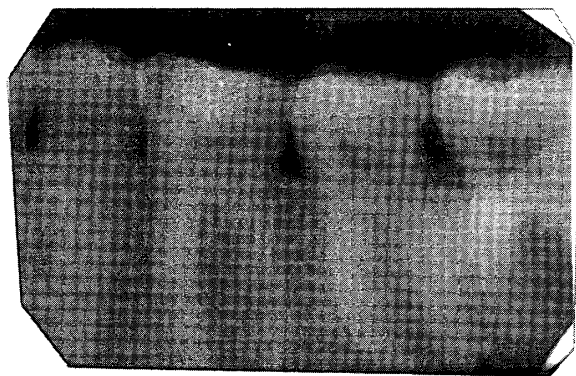


図 11. オルソタイプ/フロントスクリーン画像

表 3. 距離 88.9 cm, 濃度 $D \approx 1.0$ の条件で線量測定

フィルムシステム	管電流 (kV)	管電圧 (mA)	時間 (sec)	線量 (μGy)
Ultraspeed	70	100	0.05	250.4
Insight	70	80	0.05	205.1
Ortho/Noscreen	70	200	0.63	6,695
Ortho/Frontscreen	70	63	0.002	6.922

またオルソタイプ/ノンスクリーンフィルムに対してデンタルフィルムは約 1/30 の線量であった。

表 5. 口腔内法撮影条件で線量測定

部位	管電圧 (kV)	管電流 (mA)	時間 (sec)	距離 (cm)	線量 (μGy)
大白歯	70	10	0.25	30	1,049
小白歯	70	10	0.2	30	837.6
前歯	70	10	0.16	30	668.3

(2) デンタルフィルム特性曲線の 1 段目から 5 段目の条件で測定

表 4. デンタルフィルム特性曲線の 1 段目から 5 段目の条件で線量測定

段	Ultra (μGy)	Insight (μGy)
5	232.5	191.2
4	338.9	277.1
3	482.8	394.6
2	708.0	578.5
1	1,020	844.3

(3) 口腔内法撮影条件で測定 (Ultraspeed)

表 4, 5 の結果から、実際の口腔内撮影の線量は特性曲線の 1 段目, 2 段目の高露光領域に相当した。

4. 考 察

本実験では、デンタルフィルムの物理的特性を明らかにするため、スクリーンシステムの測定法の適用を試みた。測定するにあたって、同一 Lot number のデンタルフィルムには特性上のばらつきがないか統計的な解析を行った。デンタルフィルムについて、ベース濃度値および表 1 の記述統計結果から、同一 Lot number の個々のデンタルフィルム間にばらつきはないものと判断した。

表 2 ①, ②からデンタルフィルム, オルソタイプフィルムの濃度値の変動係数は, F 検定により, $P > 0.05$ で棄却されないとなり分散が一致と判断し, Student t 検定をおこなった結果, $P > 0.05$ で棄却されないとなった。したがって, カットされたデンタルフィルムと一枚のシートフィルムの特性に有意差はないことが明らかとなった。

以上から, 本法はデンタルフィルムの特性測定

法として適用可能であると判断できた。

Insight フィルムの Ultra speed フィルムに対する比感度は, Insight フィルムが約 35% 高感度であった。また, 平均階調度から Insight フィルムは Ultra speed フィルムに比べ, 高コントラストであることがわかった。デンタルフィルムは, ノンスクリーンであるため, 乳剤層を厚くすることで感度を高め, 銀粒子を微小化することで高鮮鋭度を得ている⁷⁾。Insight フィルムは, このフィルム組成にさらに改良が加えられ, 鮮鋭度を低下させることなく感度を高めたフィルムである。口腔内撮影は一度に数枚の撮影を行うことが多く, また治療の経過ごとに同じ部位を撮影する。部位によっては水晶体, 甲状腺が利用線錐内に入る場合がある。したがって, 吸収線量軽減を考慮し, Insight フィルムを使用すべきである。しかし, 図 4 から Insight フィルムは 5 LP/mm 以上で, 鮮鋭度が低下することがわかる。この鮮鋭度の低下が診断に影響するのか, 実際の画像を比較した。図 8, 9 の画像から, 両者の鮮鋭性には視覚的な差はなく, 高周波領域での Insight フィルムの鮮鋭度低下は診断上問題ないと判断した。

次に, デンタルフィルム特性をオルソタイプフィルム特性と比較することを試みた。図 6 からデンタルフィルムは, 高露光領域で感度の増加率が大きく, 指数関数的に感度の増加する傾向があった。図 7 から, MTF 値はオルソタイプフィルムが 5 LP/mm でほぼ限界となるのに対し, デンタルフィルムは高周波領域で MTF 値の急激な低下はなく極めて高鮮鋭度であることがわかった。図 8 から図 11 の画像においても, デンタルフィルムが高鮮鋭度であることが明らかである。

表 4, 5 の線量測定結果から, 実際のデンタル撮影の線量は特性曲線の 1 段目, 2 段目に相当する。

つまり、デンタルフィルムがより高感度になる部分で撮影されていることがわかった。

表3から Insight フィルムは Ultra speed フィルムに比べ、約 20% の線量軽減となる。先の比感度の計算では Insaight フィルムが約 35%, 高感度であった。これは線量測定の場合で Insight フィルムの濃度値がやや高かったためである。また、デンタルフィルムの吸収線量は、オルソタイプ/フロントスクリーンに比べ約 30 倍、オルソタイプ/ノンスクリーンに比べ約 1/30 であった。先の画像の比較から図 10 のオルソタイプフィルム/ノンスクリーンでも診断可能であるが、吸収線量はデンタルフィルムの 30 倍である。つまり、デンタルフィルムはノンスクリーンでありながら、吸収線量は軽減され、高感度、高鮮鋭度のフィルムとして開発、改良されたと考える。

本来、10 LP/mm 以上の分解能をもつフィルムの特性測定にはスリット法が適用されるが⁷⁾、本法ではデンタルフィルムの特性測定に距離法の適用を試みた。その結果、スリット法で得られる特性とほぼ同じ結果が得られ、またオルソタイプフィルムとの比較が容易になり、デンタルフィルムの特性をより明確に把握することができた。今後、本実験の方法、データをより確実なものにすると同時に、デジタル画像との比較を行うこととした。

5. 結 語

デンタルフィルムの物理的特性の測定を行った。方法として、フィルム/スクリーンシステムの

測定法の適用を試みた。その際、デンタルフィルムの特性のばらつきについて検討した結果は、ほとんど変動のないことが明らかになった。

Insight フィルムの Ultra speed フィルムに対する比感度は $RS=134.9$ 、平均階調度は Insight フィルムが $\bar{G}=2.63$ 、Ultra speed フィルムが $\bar{G}=2.46$ であった。MTF 値は 10 LP/mm で、Insight フィルムが 0.55、Ultra speed フィルムが 0.78 であった。吸収線量の比較は、デンタルフィルムはオルソタイプ/フロントスクリーンに対して約 30 倍、オルソタイプ/ノンスクリーンに対しては約 1/30 であった。

文 献

- 1) 古本啓一, 山本 昭, 岡野友弘: 歯科放射線学, 医歯薬出版 P5~P6
- 2) 写真—直接撮影 (増感紙なし) 医療用及び歯科用 X 線写真フィルムと処理との組み合わせシステム—ISO 平均階調度の求め方, 日本工業規格 K-716-1993
- 3) 西川慶一, 小林紀雄, 和光 衛, 黒柳錦也: Kodak 社製新型口内法 X 線フィルムの物理的性能評価
- 4) 丹羽克味: 歯科領域の X 線撮影
- 5) 新しい放射線写真学, 富士メディカルシステム株式会社
- 6) 大塚昭義, 砂屋敷忠, 小寺吉衛: 実験画像評価—初学者のための実験入門—, (株) メディカルトリビューン
- 7) 金森勇雄, 片木喜代治他: 歯, 顎顔面検査法, 医療科学社