

## 高解像度デジタルカメラを用いたディスプレイ性能評価システムの開発

市川 勝弘, 藤田 広志\*, 澤田 道人\*\*, 加藤 秀起\*\*\*

名古屋市立大学病院中央放射線部・〒467-8602 名古屋市瑞穂区瑞穂町字川澄 1

\*岐阜大学大学院医学研究科・〒501-1194 岐阜市柳戸 1-1

\*\*安城更生病院放射線技術科・〒446-8602 安城市安城町東広畔 28 番地

\*\*\*エスエス技研株式会社・〒462-0017 名古屋市北区落合町 48-3

(2004年7月20日, 最終2004年8月10日受理)

### Development of a Physical Evaluation System for Medical Display using High Resolution Digital Camera

Katsuhiro ICHIKAWA, Hiroshi FUJITA\*, Michito SAWADA\*\* and Hideki KATO\*\*\*

Department of Central Radiology, Nagoya City University Hospital

1 Kawasumi, Mizuho-ku, Nagoya 467-8602, Japan

\*Department of Intelligent Image Information, Graduate School of Medicine, Gifu University

1-1 Yanagido, Gifu 501-1193, Japan

\*\*Department of Radiology, Anjo Kosei Hospital

28 Higashihokute, Anjo 446-8602, Japan

\*\*\*S.S. Techno-Engineering Corporation

48-3 ochiai-tyo, kita-ku, nagoya 462-0017, Japan

(Received July 20, 2004, in final form, August 10, 2004)

**Abstract :** We developed a new physical evaluation system for medical displays using a high-resolution single-lens reflex type digital camera. This system was designed for easy and precise measurements of the modulation transfer function, the luminance response and the noise power spectrum of the liquid crystal display and the cathode-ray tube display. Each of the measurements was achieved by one-time photographing of a test pattern with the optimized data processing. Simple composition (a digital camera and a computer only) was very suitable for measurement in medical settings. Actual measurements were performed to three medical displays, and the high reproducibility and easy operability of this system were demonstrated.

**Key words :** display, modulation transfer function, luminance response, noise power spectrum, digital camera

#### 1. はじめに

放射線画像診断機器のデジタル化と医療画像ネットワークの普及が急速に進む中で、これまでのフィルムの読影による診断から、ディスプレイを使用するいわゆる“モニター診断”への移行が多くの施設で実現されつつある。

従来のフィルムの画質評価においては、解像度や粒状性などの物理特性の測定方法や測定機器は、ほぼ確立されているが[1-3]、今後、読影診断の主た

る観察対象となるディスプレイにおいては、放送機器分野の規格や研究[4,5]の応用に留まり、医療現場での測定を考慮した測定方法や測定機器の開発は、いくつかの提案が[6-8]されているものの未だ確立されるには至っていない。

我々は、市販の一眼レフレックスタイプの高解像度デジタルカメラを用いた医療用ディスプレイのMTF(modulation transfer function)の測定方法の開発[9]を行った。この測定システムは、デジタルカメラとコンピュータだけの簡単な構成により、ディ

スプレイの解像度を簡単な手技により正確に測定するものであり、その測定精度と再現性から、用いたデジタルカメラの性能が十分なものであることと、その容易な操作性が医療現場での測定に適したものであることを確認した。この研究成果から、入手性に優れ、かつ、高性能なカメラを、ディスプレイの階調特性や、粒状性測定に応用することの有効性も示唆されたため、ディスプレイの総合的な性能評価システムの開発を行った。

今回開発したシステムは、解像度測定に用いたデジタルカメラよりも、さらに高性能化されたカメラを用いて、ディスプレイのMTF、階調特性、及び粒状性を簡単な操作により測定可能とするものであり、医療現場で実用できる操作性と、高い精度を両立することを主眼においた。本報告では、本システムの機器構成、それぞれの測定手法の概略、及び実際の測定結果について述べる。

## 2. システムの機器構成

ディスプレイのMTF測定システムの研究段階では、デジタルカメラにNikon社製D1H(2012×1324ピクセル, 12bits)を用いていたが[9]、さらに高性能となった同社製D70(3040×2014ピクセル, 12bits)を本システムでは用いた。装着するマイクロレンズは、同じくNikon社製、Micro-Nikkor 60mm f/2.8Dを用い、X-Y方向の移動機構を有するカメラ固定台(エスエス技研製)を用いてディスプレイ表面の限られた領域を撮影する。解像度と粒状性は、専用に作成されたテストパターンを、そして、階調特性はSMPTE(Society of Motion Picture and Television Engineers)RP133[10]のテストパターン(以下、SMPTEテストパターン)をディスプレイに表示し、それをデジタルカメラで撮影する。撮影データは、可逆圧縮の生データであり、撮像素子であるcharge-coupled device(CCD)からのデータを加工することなく出力したデータである。このデータを、コンパクトフラッシュメモリ経由でコンピュータに転送し、専用プログラムにより解析し測定結果を出力する。なお、最近の医療用高精細ディスプレイは、白黒ディ

スプレイがほとんどであることから、本システムは、白黒ディスプレイのみを対象として開発した。

## 3. 測定方法

### 3.1 MTF

我々が既に開発したバーパターンによる手法[9]を採用し、専用のバーパターンを撮影して、得られる矩形波の波形データから周波数解析により正弦波成分を抽出することによりMTFを測定した。本手法の解析方法では、連続波形であるcathode-ray tube(CRT)ディスプレイにおける水平方向と、離散的であるCRTディスプレイの垂直方向や液晶ディスプレイの両方に対応した測定が可能である。現在普及している医療用的高精細液晶ディスプレイにおいては、ほとんどがビデオインターフェースとデジタル的に接続されている。よってCRTディスプレイの映像回路のような構成部分の影響は皆無である。すなわち、それぞれの画素はピクセル値に従った離散的な値で駆動される。よって、この場合のMTFは、入力インパルスに対しての、画素構造(発光部分の構造)に従った出力輝度分布の特性として取り扱った。なお、デジタルカメラによるサンプリング間隔は、ディスプレイ上に表示されるパターンの

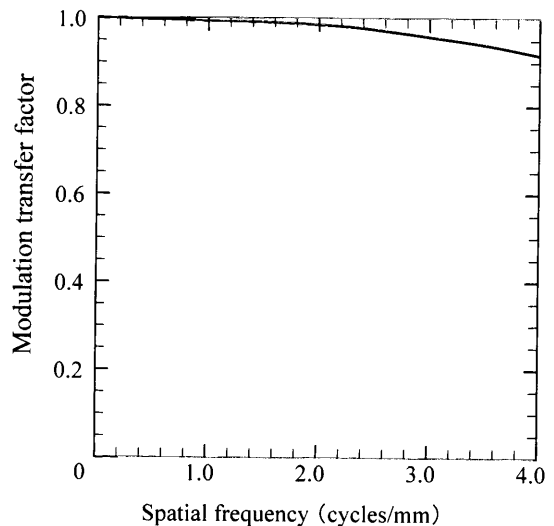


Fig. 1 Horizontal MTF of D70 digital camera.

周波数成分を考慮して、ディスプレイの画素間隔の1/5以下とし[9]、十分に細かい間隔となるようにした。

Fig. 1は、使用したデジタルカメラの自体のMTFの測定結果である。測定は、0.01mm幅の極めて細いラインの像を約2度傾けて撮影し、実効サンプリング間隔小さくする手法[11]により行った。現在、市販されているディスプレイで、最も細かいピクセルサイズは、約0.15mmであるが、そのディスプレイのナイキスト周波数である約3.3 cycles/mmにおけるMTFは約0.95となり、MTF測定に使用する機器として十分な特性であった。

### 3.2 階調曲線

ディスプレイに、SMPTEテストパターンを表示して、これを撮影した。撮影データからdigital drive level(DDL)の0%から100%までの輝度を求め、階調曲線として表示する。

Fig. 2は、輝度とデジタルカメラのピクセル値

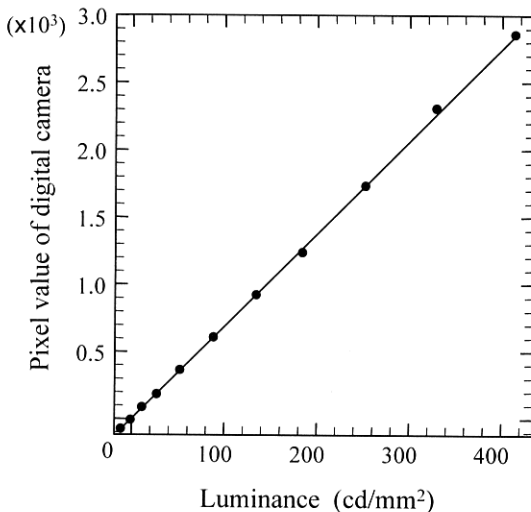


Fig. 2 Relationship of luminance and pixel value of the digital camera.

との関係を測定した結果である。0.3cd/mm<sup>2</sup>から400cd/mm<sup>2</sup>まで、良好な直線性を示し、ダイナミックレンジも十分であった。今後、最高輝度の高いディスプレイが登場しても、レンズの絞りとシャッター

スピードにより対応可能であると考えられる。

### 3.3 NPS

粒状性の評価法として、noise power spectrum (NPS)による方法を用いた。Fig. 3にNPS測定用の

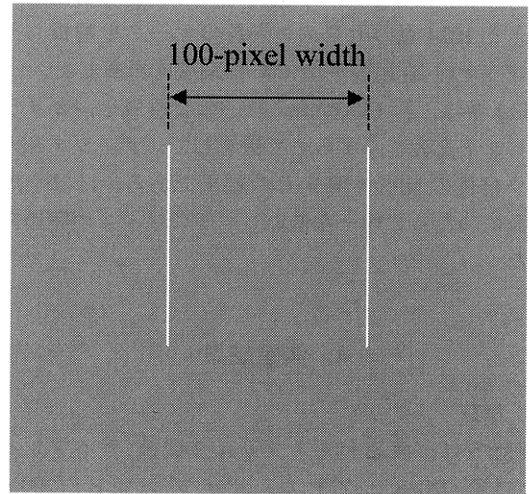


Fig. 3 A test pattern used for measurement of noise power spectrum.

テストパターンを示した。パターン上には、100ピクセル間隔の縦のラインが配置してあり、このラインが撮影領域の80%程度となるように撮影する。

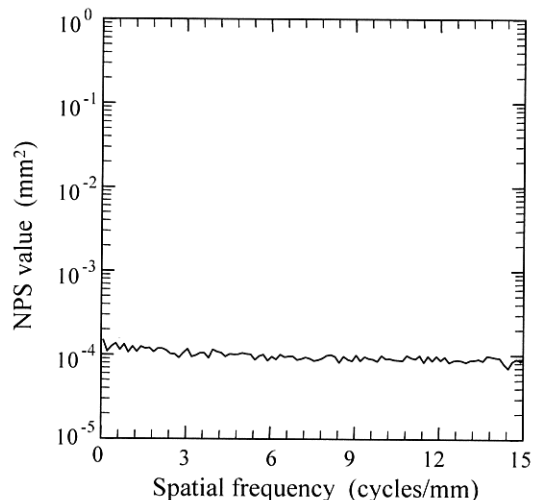


Fig. 4 Noise power spectrum of a D70 digital camera obtained at an image area with uniform brightness of 100cd/mm<sup>2</sup>.

これにより、1ピクセル当たりのデジタルカメラのピクセル数、すなわち、1ピクセル当たりのサンプリング数を求める。今回用いたデジタルカメラでは、サンプリング数は、15~19程度となった。撮影されたデータから縦のラインに囲まれた一様な領域について、40点の仮想スリットによる方法[12]により1024点のセグメント長のデータを解析し、領域内を約20回の平均によりNPSを計算した。

Fig. 4は、約100cd/mm<sup>2</sup>の一様な領域を、カメラのピントを大きくずらして撮影して、デジタルカメラ自体のNPSを測定した結果である。ほぼ全周波数にわたって均一な低いレベルのノイズが認められた。

## 4. 測定結果

### 4.1 MTF

Fig. 5は、液晶ディスプレイ2機種(ディスプレイA:1530×2048ピクセル、ディスプレイB:1200×1600)と乳腺読影端末用のCRTディスプレイ(ディスプレイC:2048×2560ピクセル)についてのMTF測定結果である。MTFのグラフの横軸のスケールは、ディスプレイのピクセルサイズを $d$ とした場合に $1/2d$ によって求められるナイキスト周波数に対

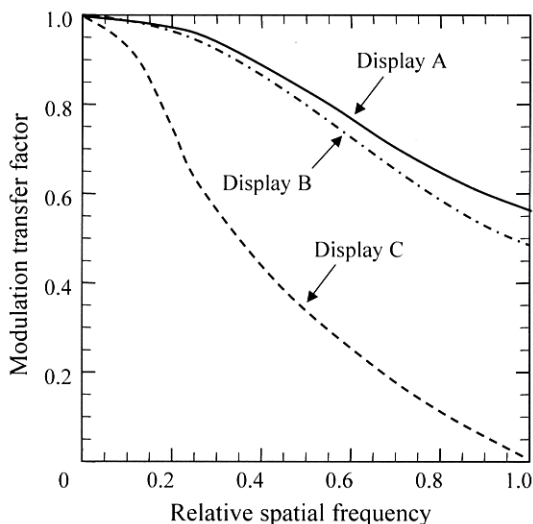


Fig. 5 Measured horizontal MTFs of three different displays.

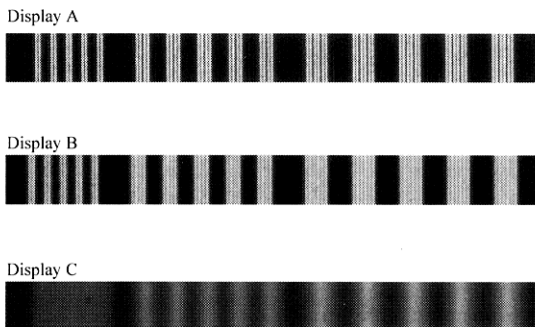


Fig. 6 Acquired bar pattern images from three different displays.

する相対空間周波数を用いた。Fig. 6は、デジタルカメラによって得られたテストパターンの撮影画像(1,2,3ピクセル幅のバーパターンの部分)である。なお、相対空間周波数1.0における5回の測定結果のバラツキは、標準偏差で0.07~0.09となり、優れた再現性を示した。

### 4.2 階調曲線

Fig. 7は、ディスプレイAにおいて、階調曲線をDICOM(digital image communication of medicine)規格にあるGSDF(gray scale standard display function)とCRTの特性に従ったガンマ特性(ガンマ=2.4)に設定して、測定した結果である。デジタルカメラの

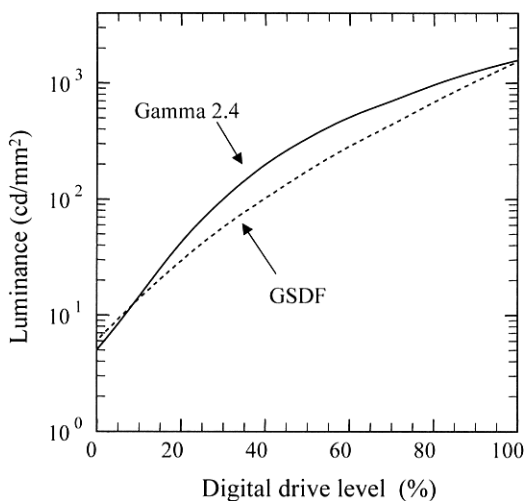


Fig. 7 Luminance responses obtained from two different display-function settings.

輝度対ピクセル値の直線性が良好であるため、設定値に従った結果が得られた。

### 4.3 NPS

Fig. 8は、ディスプレイAとディスプレイCにおいて、約100cd/mm<sup>2</sup>の一様な領域にて測定した水平方向のNPSの比較である。それぞれの結果は、

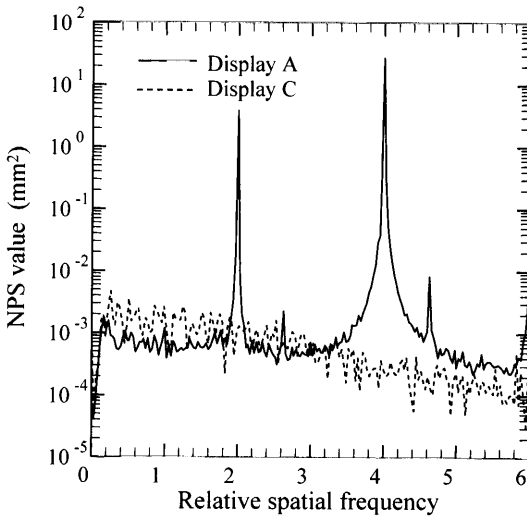


Fig. 8 Measured noise power spectra for two displays.

MTFと同じく相対空間周波数に対して求めた。ディスプレイCはCRTタイプであり、視覚的には、やや荒い輝度ムラが目立ったが、それ以外は均一なノイズの少ない印象を受けた。測定結果では、低周波領域においては、液晶ディスプレイであるディスプレイAよりもディスプレイCが悪く、高周波領域では、ディスプレイCが優れており、視覚とほぼ一致した結果が得られた。液晶ディスプレイでは、画素構造による特定周波数の大きなピークが現れ、比較の障害となった。

## 5. 考 察

MTFは、解像特性を示す画質の重要な要素であり、それを正確に測定することの重要性は高い。過去の研究における測定方法[5,6]は、専用機器を必要とするだけでなく、一度の測定に複数回のデータ

収集を要し、医療現場での適用には問題があった。これに対して、本システムは再現性が高く、一度の撮影のみから結果が得られることは大きな利点である。

階調曲線の測定は、輝度計による測定が一般的であるため、精度を重要視する場合には輝度計を用いるべきであろう。しかし、医療現場での quality control (QC) や quality assurance (QA) として測定を行う場合には、本システムにて流れ作業的に測定することで、複数の機器を持ち運ぶ必要が無く有効であると考えられた。

NPSの測定は、今回の比較結果では、ほぼ的確と考えられる測定結果を示した。用いたデジタルカメラ自体のNPSは、低い値を示したものの、わずかな差を比較する目的には、さらにNPSの低いデジタルカメラの採用の必要性が示唆された。液晶ディスプレイは、画素構造に起因する特定の周波数の成分以外に、画素それぞれの輝度差によるノイズ成分が認められ、それがNPSの値を高くしたと考えられた。また、画素構造によるピークは、比較評価の妨げとなるために、データ取得方法など今後の課題となった。

本システムは、基本的に各測定項目について、一度の撮影から測定が可能であり、機器の設置時間を含めても、すべての撮影の所要時間は5分程度である。撮影データは、汎用性の高い記憶媒体にてコンピュータに容易に転送でき、半自動的に解析が可能であり、それに要する時間もわずかである。よって、本システムは、これから到来するモニター診断時代において、ディスプレイの管理のための重要なツールとなることが示唆された。

## 6. 結 語

市販の一眼レフレックスタイプの高解像度デジタルカメラを用いた、ディスプレイの性能評価システムの開発を行った。本システムは、デジタルカメラとコンピュータの簡単な構成と、短時間に測定可能な簡便な測定手技により、ディスプレイの解像度、階調特性、及び粒状性を正確に再現性よく測定

可能である。本システムのこれらの特徴は、医療現場に適したものであり、今後のモニター診断時代において、有効な測定システムとなり得ると信ずる。

### 参考文献

- [1] 内田 勝監修：基礎 放射線画像工学，132-142，オーム社，東京，1998.
- [2] ICRU Report 41： Modulation transfer function of screen-film systems, (ICRU, Bethesda, MD, 1986).
- [3] 内田 勝，金森仁志，稲津 博：放射線画像情報工学( I )，144-223，通商産業研究社，東京，1981.
- [4] テレビジョン受像機試験方法，JIS， C6101 (1998).
- [5] 金澤 勝，近藤いさお，杉浦幸雄，他：ディスプレイのMTF測定方法，映像情報メディア学会誌，55(5)，760-772，2001.
- [6] Roehrig H, Willis C, and Damento M: Characterization of mono-chrome CRT display systems in the field, J. Digit. Imag., 12(4), 152-165, 1999.
- [7] American Association of Physicists in Medicine (AAPM), Task Group 18, Assessment of display performance for medical imaging systems, Preprint Draft (version 9.0), 2002.
- [8] Chawla A, Roehrig H, Fan J, et al.: Real-time evaluation of displays in the clinical arena, Proc. SPIE, 5029, 734-743, 2003.
- [9] 市川勝弘，藤田広志：バーパターンを用いた医用画像ビューアのMTF測定法，日本写真学会誌，67(2)，184-190,2004.
- [10] Society of Motion Pictures and Television Engineers(SMPTE)：Specifications for medical diagnostic imaging test pattern for television monitors and hard-copy recording cameras, RP 133, SMPTE Journal, 95, 693-695, 1986.
- [11] Fujita H, Ueda K, Morishita J, et al.: Basic imaging properties of a computed radio-graphic system with photostimulable phosphors. Med. Phys., 16(1), 52-59, 1989.
- [12] Giger ML, Doi K, and Fujita H: Investigation of basic imaging properties in digital radiography. 7. Noise Wiener spectra of II-TV digital imaging systems, Med. Phys., 3(2), 131-138, 1986.