

誌上講座

## LCDモニタの基礎と品質管理

株式会社ナナオ 映像商品開発部  
橋本 憲幸

### 1. はじめに

現在、施設に導入される画像表示用モニタは、ほとんど LCD (Liquid Crystal Display) モニタとなっている。CRT (Cathode Ray Tube) モニタと比較し、高輝度・高解像度・歪・フォーカス・省スペース・経済性など優位な点が多い。しかし、LCD モニタの特性や機能については、あまり知られていないのが現状である。画像表示の一貫性を確保するためには、LCD モニタの特性を知り管理する必要がある。

### 2. LCD モニタの特性

#### 2-1 構造

図1にLCDの基本構造を示す。LCDは、2枚のガラス板の間に分子構造的に異方性をもつ液晶分子を封入し、電圧をかけることによって液晶分子の配向変化を透過光量変化に変換し輝度を制御することで像を表示する構造になっている。現在主流のLCDは、アクティブマトリクス駆動のTFT (Thin Film Transistor) 方式であり、背面にバックライトを付設した透過型LCDである。画素数に応じて必要な液晶セルを集合させ、各液晶セルにそれぞれ独立したスイッチング素子を設けている(図2)。構造的にはFPD (Flat Panel Detector) と同じであり、入出力動作が反対と考えると良い。平面上の固定画素であることから、CRTのようなサイズ変化や幾何学歪みは無く磁気の影響も受けない。さらに、薄型・軽量になるため、設置場所/方法の制約が少なくなった。

LCDの駆動方式はいくつかあるが、現在の主流はTN (Twisted Nematic) 方式、VA (Vertical Alignment) 方式、IPS (In Plane Switching) 方式である。概ねではあるが表1の様な特長がある。

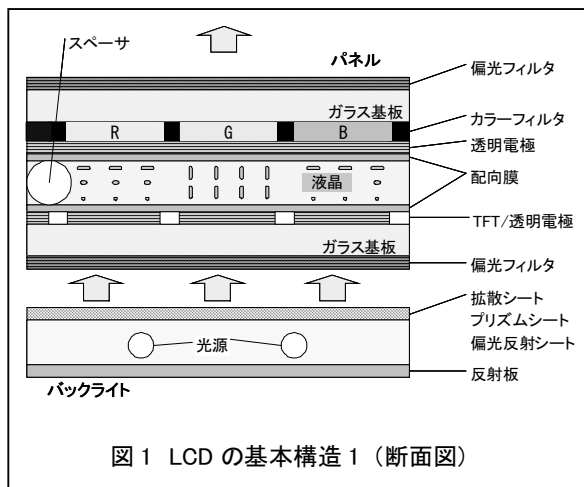


図1 LCDの基本構造1 (断面図)

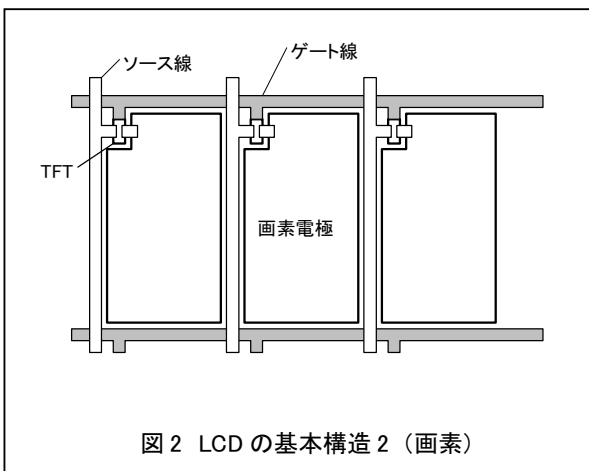


図2 LCDの基本構造2 (画素)

表1 液晶駆動方式の比較

	TN	VA	IPS
視野角	△	○	◎
コントラスト比	○	◎	◎
応答速度	○	○ 0⇔100良	◎ 階調差小
コスト	◎	○	△

◎: 良い, ○: 普通, △: やや劣る

VA モードの応答速度は、入力 0⇔100%間は早いですが中間階調間は遅い。

医用モニタで採用されているのは圧倒的に IPS 方式が多く、その理由は視野角による輝度/色度変化が小さいためである。観察する角度つまり頭の位置や複数面を見る場合や複数人で見る場合にも忠実な表示が必要であり、見方によって診断に差が出ては困るからである。

## 2-2 解像度・サイズ

1 ピクセル（画素）の構造は図 3 の様に 3 つのサブピクセルで構成されており、さらに 1 サブピクセルは複数の開口部によって構成されている。カラーLCD モニタの場合は、各サブピクセルに R（赤）、G（緑）、B（青）が割り当てられる。また、各開口部間は、ブラックマトリクスにて光が遮断されている。ピクセルの形状はメーカー、サイズ、方式によって LCD 毎に異なる。表 2 に標準的な LCD のサイズと解像度を示す。撮影装置の画素ピッチとモニタの画素ピッチは異なるので、画像データを 1 対 1 に対応させると実際の寸法とは違う表示となる。モニタの表示解像度より大きな画像データを全表示するためには縮小処理が伴う。縮小処理は簡単にはデータの間引きを行うので、表示解像度の低いモニタでは元データからの違いが大きくなる。

空間解像度に関して、LCD モニタはピクセルが固定であり開口部がほぼ一様に発光しているため、MTF (Modulation Transfer Function) は CRT モニタと比較し高い値を示し、個体差や経年変化がほとんど無い。CRT モニタは電子ビームが電流（輝度）、ビデオ信号経路の周波数特性、走査位置、フォーカス調整によって大きさや形が変化し、さらに経年変化するため大きなバラツキがある。

## 2-3 輝度・コントラスト・階調特性

最大輝度はモノクロ LCD モニタで約 700cd/m<sup>2</sup> 以上、カラーLCD モニタで約 250cd/m<sup>2</sup> 以上が一般的である。最近では、カラーLCD モニタの輝度が向上してきている。メーカーでは寿命を考慮して推奨輝度を設定しており、出荷時に調整されている。カタログ上の最大輝度はモニタが表示できる上限を示しており、実際に使用している最大輝度とは異なる。最小輝度はカタログには記載が無いが、コントラスト比が記載されているので、コントラスト比 = (最大輝度 / 最小輝度) より計算することができる。例えば設定輝度 450cd/m<sup>2</sup>、コントラスト比 600:1 の場合、最小輝度は 0.75cd/m<sup>2</sup> となる。コントラスト比は LCD パネルで決定される。

モニタの階調特性は様々である。汎用モニタの場合は、従来の CRT モニタを踏襲して  $\gamma=2.2$  を目標に設定されている。モダリティ上のモニタも同様に  $\gamma=2.2$  もしくは独自の設定になっている。どのような設定になっているかはそれぞれのメーカーに確認する必要がある。また、フィルムは Log-Linear の特性を示す。PACS で使用される医用モノクロモニタでは GSDF (Grayscale Standard Display Function) が一般的である。GSDF とは、紙、フィルム、モニタなどの輝度の異なる表示装置においても、低階調領域から高階調領域まで同じような見え方となるように、人間の識別閾を考慮して作成された関数である。最近のモニタ品質規格 (JESRA X-0093 や AAPM TG18) では GSDF を基本特性としており、IHE (Integrating Healthcare Enterprise) のプロファイル CPI (Consistent Presentation of

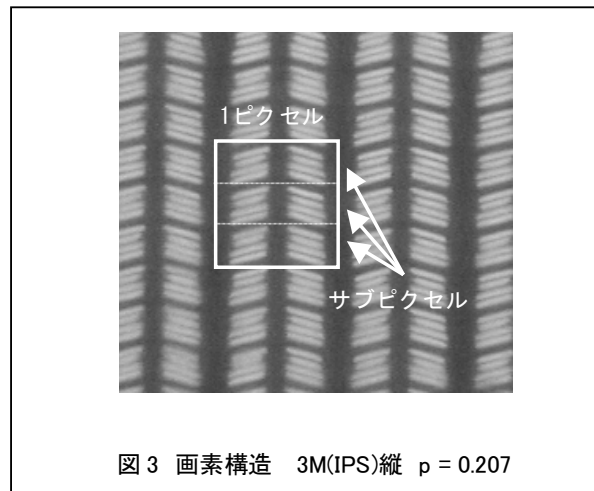


図 3 画素構造 3M(IPS)縦 p = 0.207

表 2 LCD モニタのサイズと解像度

呼称	解像度 (縦置き)	画面寸法 (mm)	画素サイズ ( $\mu\text{m}$ )	空間周波数 (lp/mm)
1M	1024×1280	287×359	280.5	1.78
2M	1200×1600	299×398	249	2.01
3M	1536×2048	318×424	207	2.42
5M	2048×2560	338×422	165	3.03

Images)でも採用されている。図4に最大輝度を同じにした時の $\gamma=2.2$ 、GSDF、Log-Linearの階調特性とグレースケールを示す。それぞれのモニタの階調特性が異なると、例えばモダリティ上で確認した画像と PACS 端末の画像の見えが異なってしまうため、注意が必要である。また、内視鏡やカメラの出力は、 $\gamma=2.2$ のモニタで整合が取れるように $\gamma=1/2.2$ の特性となっている。よって、カラーやカメラ画像とモノクロ X線画像の表示が混在する用途でも注意が必要である。フィルムに出力されていたデータと同じデータをモニタに送っても、出力特性が異なるために同じ様には見えない。モニタの表示に合わせた LUT の設定が望まれる。

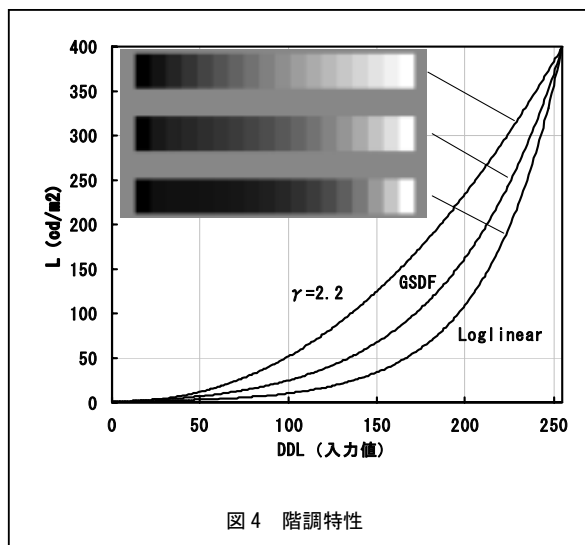


図4 階調特性

### 2-4 経時変化

LCD モニタの経時的輝度劣化は、バックライトに使用される CCFL (Cold Cathode Fluorescent Lamp : 冷陰極蛍光管) の経時変化特性に大きく依存している。CCFL の発光効率 (輝度) は、周囲温度の影響を受け、低温でも高温でも低下する。これは水銀の蒸気圧によって紫外線の放射強度が変化するためである。長時間の使用では、電極の劣化、水銀の減少および蛍光体の劣化に伴う発光量低下と波長特性変化により緩やかに輝度と色特性が変化する。これらの影響を少なくするため、医用 LCD モニタでは輝度安定化回路を設け、電源オン後の輝度変化 (図5) や長期使用の輝度変化 (図6) を抑えている。輝度安定化回路が無い場合には、頻繁な確認と校正が必要になる。汎用モニタの中には輝度安定化回路を搭載していない製品もあるので、確認が必要である。長期間に渡る輝度変化を抑えるため、医用モニタでは推奨輝度を設定している。最大輝度の60~70%程度の設定が多い。最近では高輝度の製品もあるが、設定輝度は従来通りとして寿命を伸ばす方向での使用が多い。汎用モニタでは、初期値が最大輝度の設定が多く、そのままの使用では輝度劣化の進行は早い。一般的には輝度などの経時劣化は製品保証の対象外となっているが、医用モニタでは長期的な輝度の安定が必要であり、輝度を含めての保証をしている製品もある。使用する期間も含めて機器の検討が必要になる。

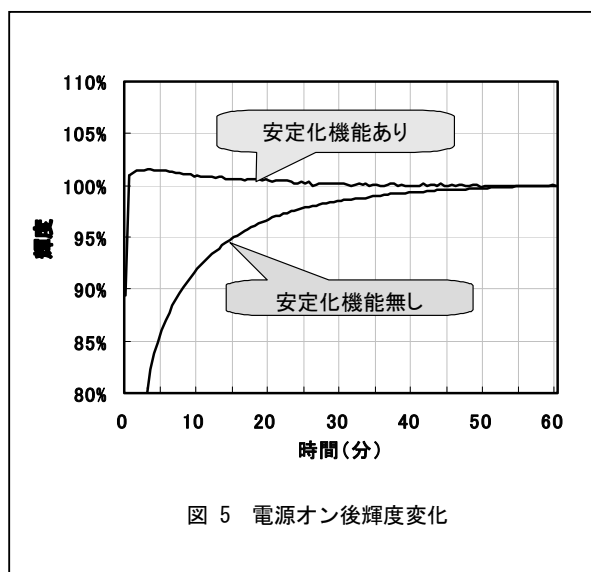


図5 電源オン後輝度変化

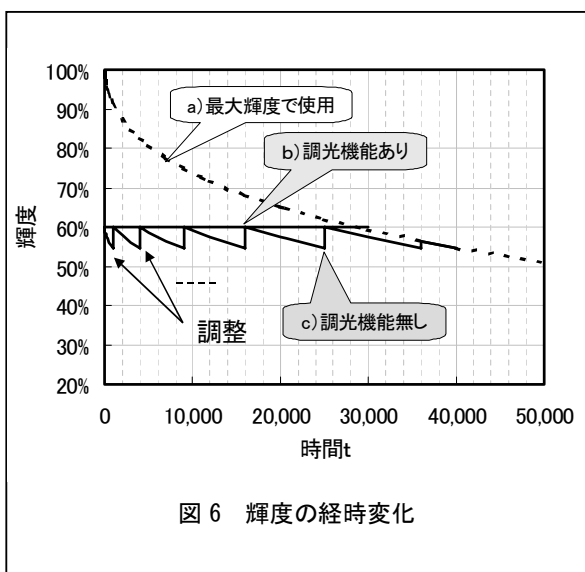


図6 輝度の経時変化

変化

### 3. LCD モニタの管理

医用モニタでは、診断精度を保証するため画像表示の一貫性を確保しなければならない。そのためには、複数のモニタの表示特性を標準化し、その輝度や階調特性などを長期間維持する必要がある。すでに評価項目と頻度については各種団体から品質規格・ガイドラインとして発行されており、これらを参考に試験を進めることができる。ただ、試験項目が多岐に渡っており、膨大な台数をこなすためには、多くの人と時間を要する。モニタメーカーは試験にかかる工数削減のために、色々な品質管理ツールを準備し、各種の規格に応じた受入/不変性試験、履歴、レポート出力等を実現している(図7)。最近では、他社製品であっても簡単な管理は可能になっている。



図7 モニタ品質管理ソフト

### 4. JESRA X-0093

JIRA(日本画像医療システム工業会)では、受入/不変性試験の実施手順と基準値を示した「医用画像表示用モニタの品質管理に関するガイドライン」JESRA X-0093を作成し2005年8月に発行した。普及のためガイドライン本文、テスト画像及び計算シートはJIRAのホームページから無償で提供されている。モニタは評価基準により「グレード1」、「グレード2」と分類している。環境光を除外した特性の測定と設置環境での目視評価の手順と参考基準値を記載している。

#### 4-1 管理体制

管理体制として施設の中に品質維持活動全般の業務を行う品質保証委員会(仮称)を設置し、品質管理に関する業務の権限・責任を与える。品質保証委員会はモニタ品質管理者を任命し、モニタ品質管理者は品質維持に関する計画・手順の作成、試験実施者への訓練、記録の保管、結果に対する評価・改善などを遂行する。一般の品質管理体制をモニタ管理に対しても行うものである。

#### 4-2 受入試験/不変性試験

本ガイドラインの特長として出荷試験報告書の作成がある。出荷試験報告書はメーカーが出荷時にガイドラインに沿った試験を実施し、その結果をユーザーに報告するものである。ユーザーは結果を受入試験として代用が可能になり、負担の軽減となる。ただし、再現性が確保できる場合の適用であり、設定を変える場合は試験が必要になる。出荷試験報告書はメーカーが測定したものであり、院内で使用する機器とは異なる。よって、導入時には不変性試験の基準値としての測定と実使用環境下での目視確認が必要である。院内で受入試験を実施する場合は、これを1回目の不変性試験と共有可能である。不変性試験は3段階に分かれ、1…基準値作成(導入時)、2…目視による全体評価(使用日毎)、3…目視評価と測定評価(LCDモニタは6ヶ月毎、輝度安定化回路搭載されているLCDモニタは1年毎)で実施する。

#### 4-3 管理項目と判定基準

表3が管理項目と判定基準となる。ただし、CRTモニタ単独の項目は除いている。目視では、通常使用環境条件でのテスト画像による階調・アーチファクトと臨床画像による評価となる。測定では、外光遮断(暗室)状態でコントラスト応答、最大輝度、輝度比を評価する。院内の様々な場所に置かれるモニタは環境条件も異なり、その最適な環境条件は診断能や効率等議論されている段階である。よって、モニタの劣化に関しては環境光を除外している。ただし、環境光が大きく変わる場所は好ま

表 3 管理項目と判定基準

判定方法	分類	判定基準		受入試験	不変性試験	テストパターン測定器	
		グレード1	グレード2				
仕様	仕様	解像度 $\geq 1k \times 1k$		○	-		
目視	全体評価	16(11)段階のパッチの輝度差が明瞭に判別できること。		○	◎	TG18-QC[SMPTE]	
		5%95%パッチが見えること。		○	◎		
		基準臨床画像の判定箇所が問題なく見えること。		○	◎	基準臨床画像	
	グレースケール	滑らかな単調連続表示であること。		○	○	TG18-QC [8bit以上グレースケール]	
	アーチファクト	アーチファクトが確認できないこと。					
		フリッカー		○	○	TG18-UNL80[全白]	
クロストーク			○	○	TG18-QC[SMPTE]		
	ビデオアーチファクト		○	○			
輝度均一性	著しい非一様性がないこと。		-	○	TG18-UNL80[全白]		
測定	コントラスト 応答	$\kappa_{\delta} \leq \pm 15\%$	$\leq \pm 30\%$	○	○	TG18-LN8-01~18 TG18-BN8-01~18 [相当パターン] 輝度計	
	最大輝度	$L_{max} \geq 170 \text{ cd/m}^2$	$\geq 100 \text{ cd/m}^2$	○	○		
		輝度偏差 $100 \times \frac{L_{maxn} - L_{max0}}{L_{max0}} \leq 10\%$ $L_{maxn}$ : 不変性試験時の最大輝度 $L_{max0}$ : 最大輝度の基準値			-	○	
		マルチモニタ間 $100 \times \frac{L_{max1} - L_{max2}}{L_{max2}} \leq 10\%$ $L_{max1}$ : 最も高輝度なモニタの最大輝度 $L_{max2}$ : 最も低輝度なモニタの最大輝度			○	○	
	輝度比	$\frac{L_{max}}{L_{min}} \geq 250$	$\geq 100$	○	○		
	輝度均一性	$200 \times \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{max} + L_{min}} \leq 30\%$ 中央と4コーナの輝度測定 $L_{max}$ : 5点間の最大値 $L_{min}$ : 5点間の最小値		○	-	TG18-UNL80[全白] 輝度計	
	色度	画面内 $\sqrt{(u'_1 - u'_2)^2 + (v'_1 - v'_2)^2} \leq 0.01$ 中央と4コーナの色度( $u', v'$ )測定 5箇所(10通り)の色差の最大値		-	○	-	TG18-UNL80[全白] 色度計
マルチモニタ間 $\sqrt{(u'_{m1} - u'_{m2})^2 + (v'_{m1} - v'_{m2})^2} \leq 0.01$ 上記5箇所の色度平均値( $u'_m, v'_m$ ) モニタ間の色差			-	○	-		
(照度)	(lux)					照度計	

注) CRTモニタ試験項目は除く  
 目視試験は通常使用環境、測定は外光無し環境  
 不変性試験の「◎」は使用日毎  
 不変性試験の「○」はCRTモニタは3ヶ月毎、液晶モニタは6ヶ月毎、輝度安定化回路を装備している液晶モニタは1年毎

しくないので、極力一定条件での使用が望ましい。受入試験では、輝度均一性、色度均一性も評価する。テストパターンはAAPM TG18 から引用されている。臨床画像は、日本医学放射線学会（JRS）「デジタル画像の取り扱いに関するガイドライン V2.0」の胸部単純 X 線画像に埋め込まれた結節を判定に用いている。

表示画像データはモニタの解像度に応じた画像を用意し、ピクセル等倍（画像データとモニタ画素が 1 対 1 対応）の表示を行う必要がある。判定ポイントには無いが、全体を観察した時に線が消えたりボケたりしてしまうので注意が必要である。

・ 受入試験

① 全体評価（目視試験）…TG18-QC パターン（図 8）と基準臨床画像（図 9）を表示して表 3 の判定基準欄を参照する。基準臨床画像は、施設独自で準備しても良い。

② その他の目視試験…TG18-QC パターン（図 10）と TG18-UNL80 パターン（図 11）を表示して表 3 の判定基準欄を参照する。

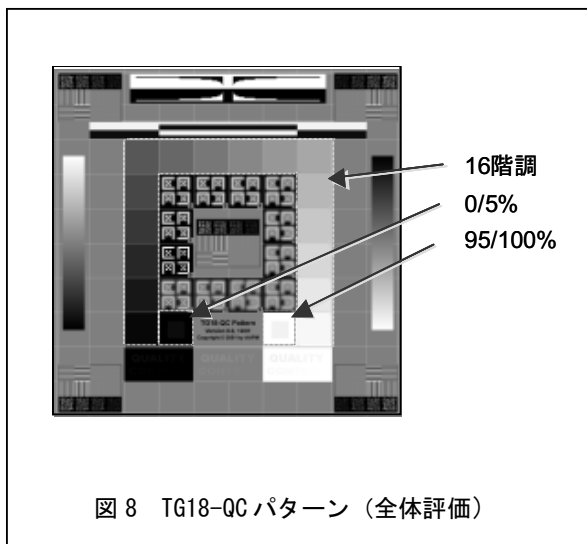


図 8 TG18-QC パターン（全体評価）

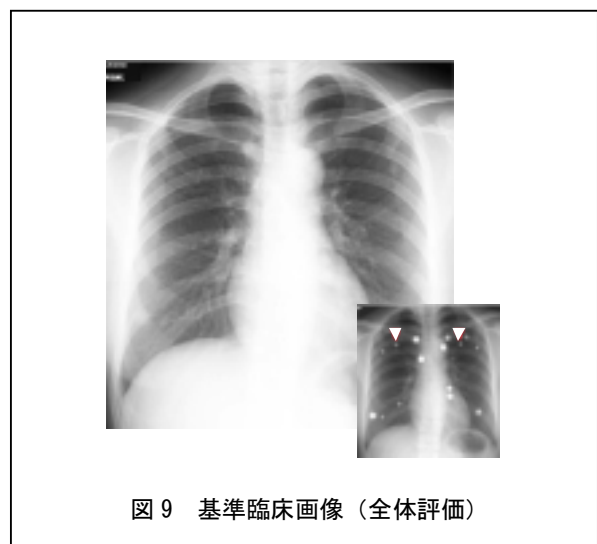


図 9 基準臨床画像（全体評価）

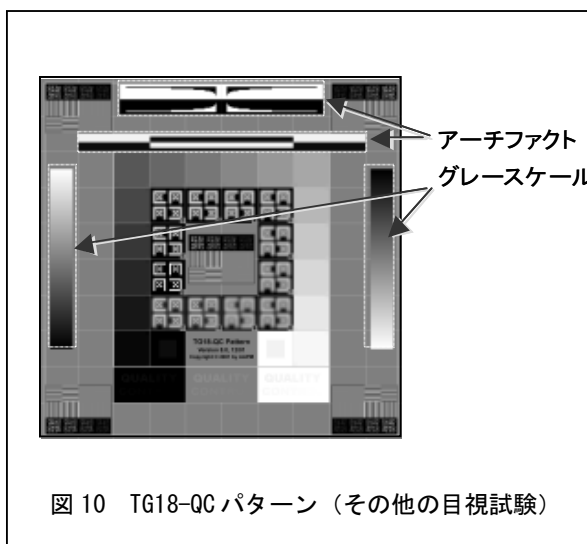


図 10 TG18-QC パターン（その他の目視試験）

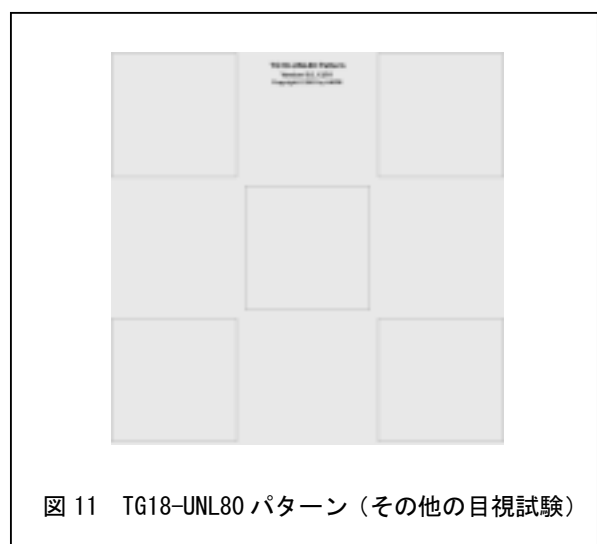


図 11 TG18-UNL80 パターン（その他の目視試験）

③ 測定試験…TG18-LN8-01~18 パターン (図 12)の 18 点の階調輝度を測定しコントラスト応答、最大輝度、輝度比を評価する。コントラスト応答は、各階調間のコントラストを GSDF のコントラストと比較する。これは、モニタの標準化を基本としているために、その他の階調特性評価は除外している。評価には計算が必要となるので、事前に計算シートを準備しておく。LCD モニタを望遠型輝度計で測定する場合は、TG18-BN8-01~18 パターンを使用する。

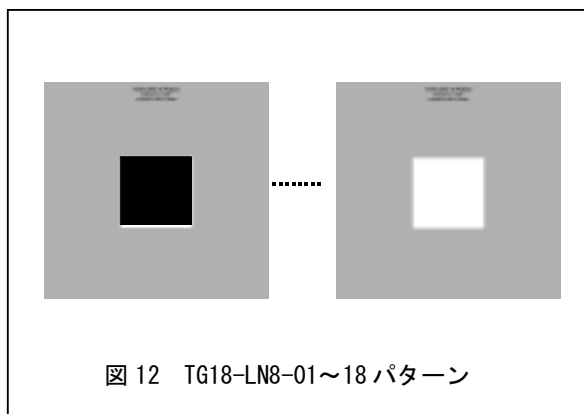


図 12 TG18-LN8-01~18 パターン

④ その他の測定試験…TG18-UNL80 パターン (図 11) を表示し、中央部と 4 コーナ部の輝度均一性、色度均一性を評価する。

・不変性試験

不変性試験 1 (導入時、基準値作成) …前項受入試験の①~③項を実施する。今後施設で使用する計測器を使用する。

不変性試験 2 (使用日毎、目視全体評価) …前項受入試験の①項を実施する。

不変性試験 3 (目視評価と測定評価) …前項受入試験の①~③項を実施する。追加として最大輝度の基準値からの偏差を評価する。

これまでの全体の流れを図 13 に示す。

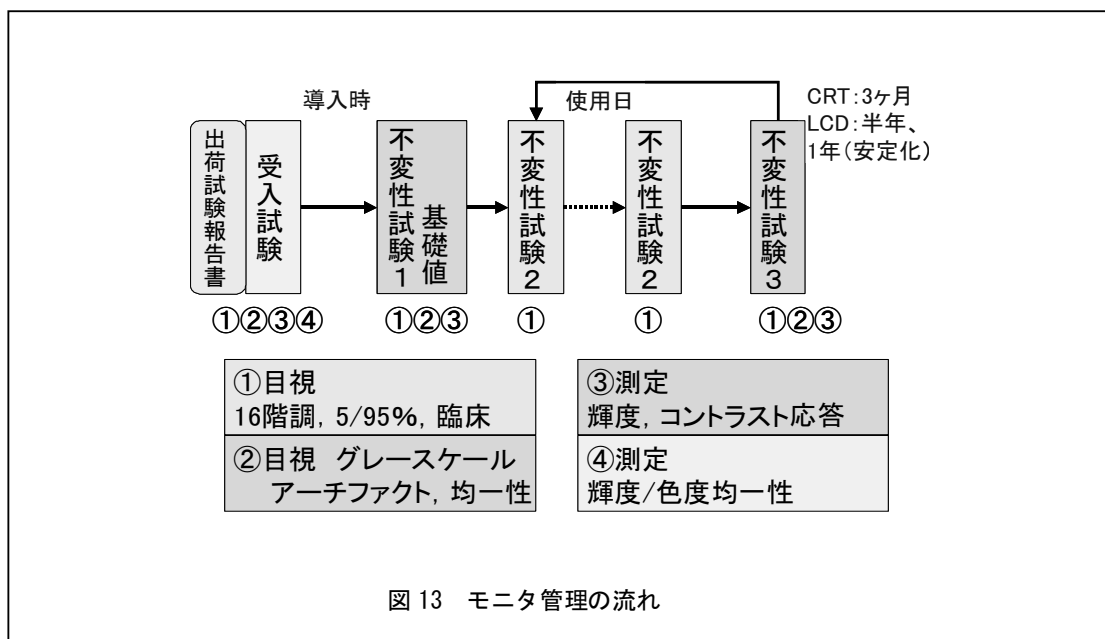


図 13 モニタ管理の流れ

4-5 輝度計・環境

試験に際して必要になる測定器は輝度計である。一般に市販されているのは望遠型であり、光源から 50~100cm 離れた場所で測定する。モニタの輝度だけではなく、周囲環境の光源による画面上の反射輝度が加算されるので、実際の観察条件とほぼ同じ状態での測定と言える。実際の画像を観察する時には環境にも影響されるので、表示の一貫性を維持するにはモニタの輝度だけではなく、周囲環境にも配慮が必要になる。しかし、実際のモニタの設置場所は様々であり、すべてのモニタに対し環境

を含めて管理するのは困難である。また、最適な環境照度は研究段階にあり、暗室が最も良いともいえない状況である。JESRA X-0093 では、これらの点を配慮し目視評価は実際の使用環境下で行い、測定はモニタ単独の特性測定としている。モニタメーカーが用意している輝度計は、画面に密着させて測定する接触型及びモニタ内蔵型である。いずれもモニタ単独の輝度を測定することができるが、望遠型では暗室状態にする必要がある。図 14 は、色々な輝度の測定ツールである。



図 14 輝度測定ツール

## 5. おわりに

モニタ管理のガイドラインとして JESRA X-0093 を紹介した。現在 IEC でもガイドラインの策定作業が進められており、いずれ発行され JIS 化される予定である。CRT モニタと比較して LCD モニタは寿命が長く、評価項目も簡単になった。当面は LCD モニタが表示装置の主流として続くと思われるので、その基本特性を知って使用して頂きたい。

## 参考文献

1. 橋本憲幸：画像表示装置(1)，日本放射線技術学会雑誌，58(10)，1297-1302,2002
2. 橋本憲幸：画像表示装置(3)－LCD モニタ，日本放射線技術学会雑誌，59(1)，21-28,2003
3. JESRA X-0093：2005，医用画像表示用モニタの品質管理に関するガイドライン，日本画像医療システム工業会（JIRA），2005  
(<http://www.jira-net.or.jp/commission/system/index.html>)
4. デジタル画像の取り扱いに関するガイドライン v2.0，日本医学放射線学会（JRS），2006  
(<http://www.radiology.jp/>)
5. Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) Part14: Grayscale Standard Display Function,  
(<http://medical.nema.org/dicom.html>)
6. Samei E, Badano A, Chakraborty, et al., Assessment of display performance for medical imaging systems, American Association of Physicists in Medicine Task Group 18 Imaging Informatics Subcommittee, AAPM ON-LINE REPORT NO.03, 2005  
(<http://deckard.mc.duke.edu/~samei/tg18>)