

高精細デジタルカメラを用いた医療用ディスプレイの輝度測定

要旨

高解像度デジタルカメラを用いた医療用モノクロディスプレイの輝度測定システムを構築し、コントラスト応答試験により望遠型輝度計と比較し、その精度を検討した。測定対象のディスプレイとして、医療用 3 メガピクセルモノクロディスプレイ (TOTOKU ME351i)を用いた。異なる輝度のテストパターンをデジタルカメラ (Nikon D80) で撮影するとともに、望遠型輝度計 (Konica Minolta LS-110) にて測定して、デジタルカメラのピクセル値と輝度の関係から、直線性補正を行った。そして、18 階調の輝度パッチを有するテストパターンを 3 種類 (ジグザグ、縦方向リニア、横方向リニア) 作成し、画像データのピクセル値から算出した輝度値からコントラスト応答値を算出した。各パターンの精度は平均二乗誤差にて評価し、どのパターンが適切であるかを検討した。3つのテストパターンの中でラスタラインに対して垂直となる横方向のリニアパターンが、位置依存性とラスタラインの影響を受けにくく適していた。望遠型輝度計に対するコントラスト応答値の平均二乗誤差が 2.88 となった。さらに位置依存性を補正することで平均二乗誤差は 1.66 となり、精度の高い測定が可能であった。これによりデジタルカメラによるディスプレイの輝度特性の測定の可能性が示唆された。

I. 緒言

医療用ディスプレイのガイドラインでは輝度特性の測定が義務付けられている。しかし、自動測定機能のないディスプレイでは測定が煩雑であるという問題点があり、デジタルカメラを用いて一度の撮影で、測定が可能となれば有用である。そこで、高解像度デジタルカメラを用いた医療用液晶ディスプレイの輝度測定システムを構築し、その有効性を検討した。

II. 測定原理

医療用ディスプレイは、DICOM 規格にて GSDF (Grayscale Standard Display Function) に調節され、その精度はコントラスト応答試験で確認することとなっている。測定においては 18 段階の輝度パッチを測定し、コントラスト応答試験シートに入力することで、コントラスト応答値が表示され、これが最大偏差±15%以内であることを確認する。図 1 にコントラスト応答試験シートの入力例を示す。

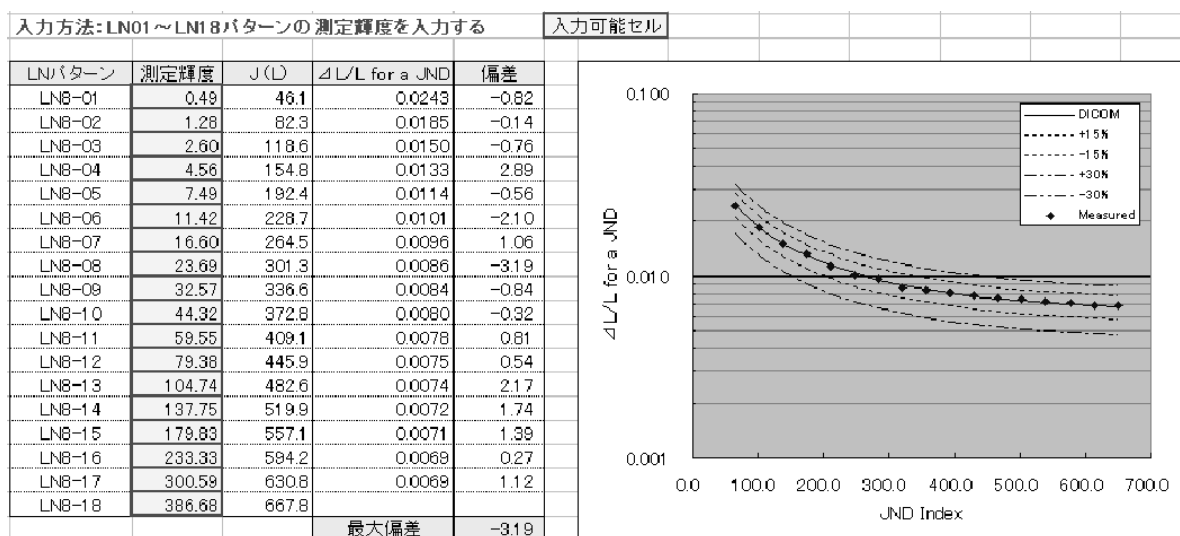


図 1. コントラスト応答試験シート入力例

II. 使用機器

使用機器は以下に示すとおりである。

- ・ 3MP 医療用モノクロディスプレイ ME351i (TOTOKU 社)
- ・ 輝度計 LS-110 (Konica Minolta 社)
- ・ デジタルカメラ D80 (Nikon 社)
- ・ マイクロレンズ AF MICRO NIKKOR 60mm1:2.8D (Nikon 社)
- ・ JESRA X-0093 不変性試験 Excel シート

III. 方法

1) 輝度補正

18 段階のテストパターン (図 2) を輝度計で測定した. 同じテストパターンをデジタルカメラで撮影した. デジタルカメラのピクセル値と輝度の関係から, 直線性補正テーブル $L(x)$ を作成した. なお, 輝度値は絞りの逆数の 2 乗およびシャッター時間に比例するという原理に基づき, 式(1)より求めた.

$$\text{輝度値} = L(\text{ピクセル値}) \times \left(\frac{1}{\text{絞り}}\right)^2 \times \text{シャッター時間} \times \text{係数} \dots (1)$$

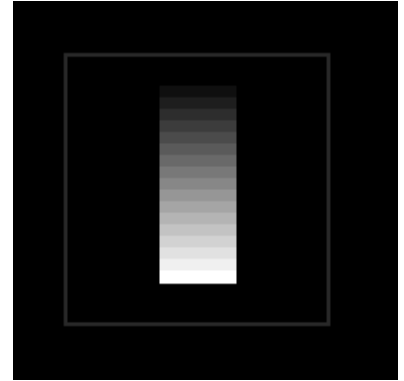
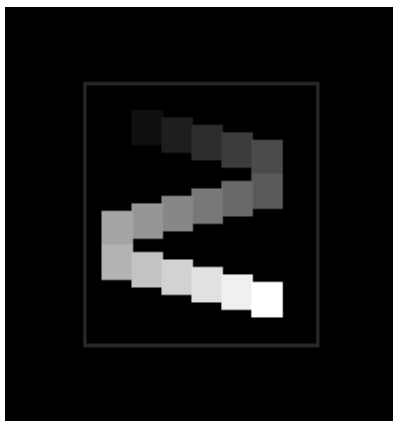


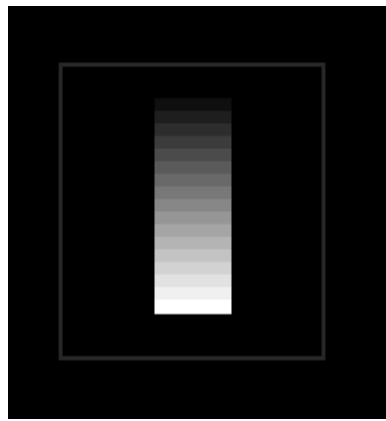
図 2. 18 段階のテストパターン

2) コントラスト応答試験

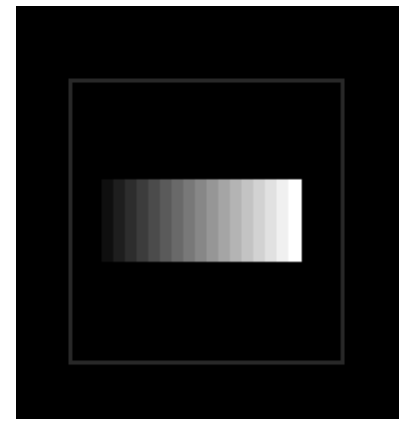
テストパターン 3 種類を撮影距離 19cm 一定にてデジタルカメラで撮影した. 撮影した画像から各パッチのピクセル値を測定し, 輝度へ変換した後コントラスト応答試験シートに入力した. また図 3 に, 測定に用いた各テストパターンを示す. ジグザグパターンでは, 高輝度パッチと低輝度パッチが離れるようにして高輝度パッチの影響が少なくなるようにした. 縦方向のリニアパターンでは, 一つのパッチの幅を 40pixel, 高さを 6pixel とした. 高さを 6pixel としたのは, パターン全体が長くなり位置依存性の影響を受けるのを防ぐためである. 同様に横方向のリニアパターンでは, 一つのパッチの幅を 6pixel, 高さを 40pixel とした. なお, すべてのパターンでディスプレイは横置きにて測定した.



(a) ジグザグパターン



(b) 縦方向リニアパターン



(c) 横方向リニアパターン

図 3. 各テストパターン

IV. 結果

1) 直線性補正

輝度とピクセル値の関係を測定した. 各測定点を線形補間し, 0~4095 のピクセル値に対するテーブル値を計算した. 図 4 に直線性補正テーブルを示す.

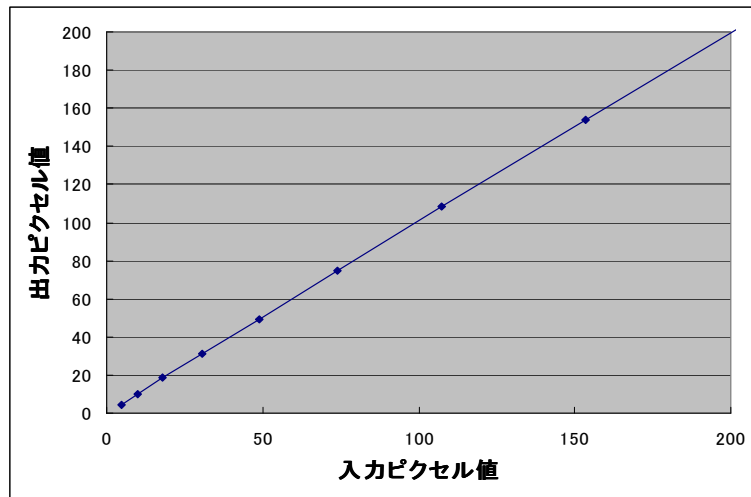
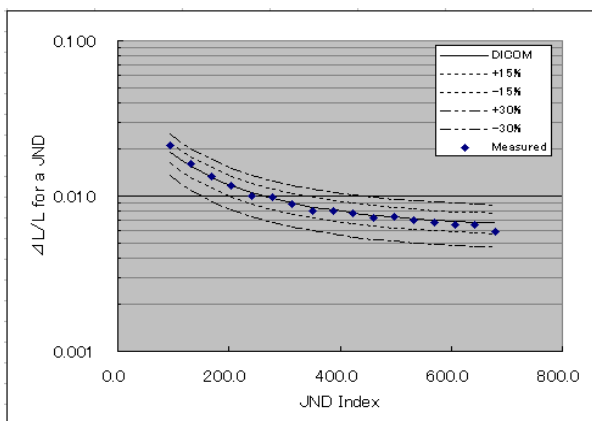


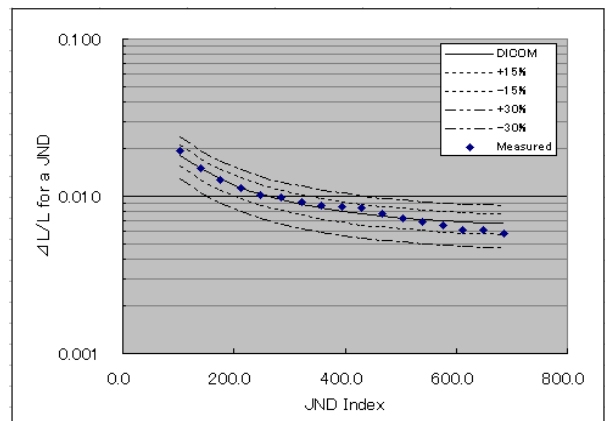
図 4. デジタルカメラのピクセル値における直線性補正テーブル

2) コントラスト応答試験

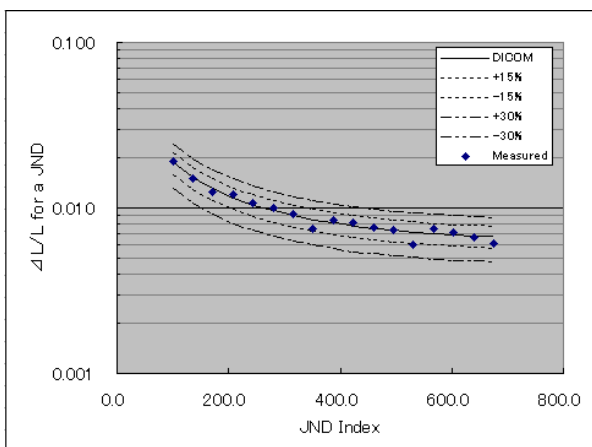
図 5 に輝度計と、各パターンのデジタルカメラ撮影によるコントラスト応答試験の測定結果を示す。輝度計の値と比較すると、斜め方向のパターンでは中輝度領域に誤差があり、縦方向のリニアパターンでは数点に顕著な誤差があった。また、横方向のリニアパターンでは輝度計の測定値とほぼ一致した。



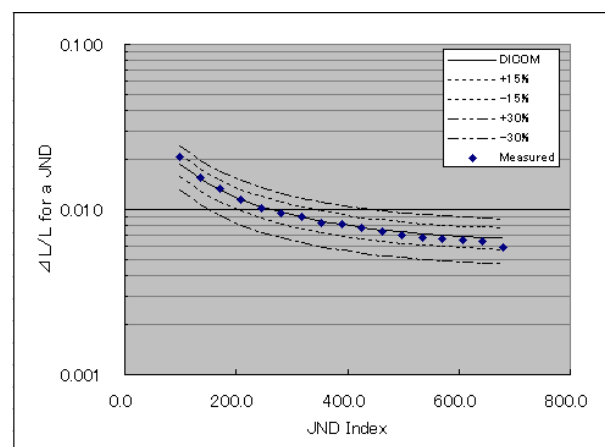
(a) 輝度計



(b) ジグザグパターン



(c) 縦方向リニアパターン



(d) 横方向リニアパターン

図 5. コントラスト応答試験の測定結果

3) 偏差の残差 2 乗平均

表 1 は輝度計の偏差値に対する各パターンの残差 2 乗の平均値である。横方向のリニアパターンが最も輝度計の値と近い値を示した。

表 1 輝度計の偏差値に対する残差 2 乗の平均値

	輝度計	ジグザグ	リニア縦	リニア横
残差 2 乗平均	0	31.37	45.23	2.88

V. 考察

縦方向のリニアパターンは輝度計との誤差が顕著になった。これは、輝度測定 ROI とラスタラインの位置関係がパッチごとに変化したためと考えられる。また、斜め方向のパターンは位置依存性も影響したと考えられる。横方向のリニアパターンは輝度計と最もよく一致した。これは、輝度測定 ROI が縦方向に長くでき、ラスタラインの影響が無視できたためと考えられる。パッチの幅を 6pixel としたことで、パターン全体の長さは 108pixel、ディスプレイ上では 24mm 程度となり、位置依存性の影響が軽減されたと考えられる。しかし、輝度計との誤差がわずかに残るので、位置依存性を補正するために追加実験を行った。図 6 のようにパターンの両隣に輝度が均一なパターンを置き、その部分にも ROI をとることで位置依存性を補正した。その後、位置依存性を補正してコントラスト応答試験を行った。表 2 に補正前後の輝度計の偏差値に対する各パターンの残差 2 乗の平均値を示す。輝度計の偏差値に対する残差 2 乗の平均値は、補正前は 2.88 であったが、位置依存性を補正することで 1.66 となり、誤差を減少できた。

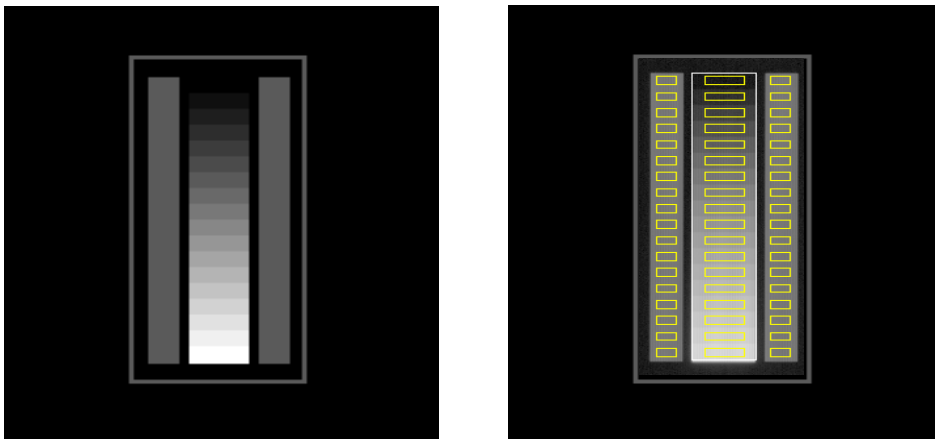


図 6. 位置依存性補正用パターン

表 2 輝度計の偏差値に対する残差 2 乗の平均値

	輝度計	リニア横 (補正前)	リニア横 (補正後)
残差 2 乗平均	0	2.88	1.66

VI. 結語

デジタルカメラを用いてディスプレイの輝度特性（コントラスト応答）の測定が可能であることが示唆された。撮影するパターンは、モニタ横置きの場合に、横方向のリニアパターンが精度に優れ、さらに位置依存性補正が有効であった。輝度計では最低 18 点の輝度測定が必要であり操作が煩雑であるが、本法では一度の撮影でコントラスト応答まで得られる点が有効であると考えられた。