

液晶ディスプレイ (TFT-LCD) 評価技術

Evaluation Technology of LCD (TFT-LCD)

林 新 一⁽¹⁾
Shinichi Hayashi

柴 田 浩⁽²⁾
Hiroshi Shibata

伊 藤 辰 男⁽³⁾
Tatsuo Ito

要 旨

TFT (Thin Film Transistor) フルカラーLCDは車載用ディスプレイにおけるTV、ナビゲーション情報に加え、VICS (Vehicle Information & Communication System) など多様化する情報を表示するデバイスとして更に需要が伸びていくものと思われる。その中で特に視認性に関わる画質を評価することは重要である。

画質を評価する方法としては、主観的評価 (心理データ分析) と客観的評価 (物理データ分析) とがある。今回、官能評価実験から得られたいくつかの互いに独立な心理データを要因分析し、その心理要因に対応する物理要因を探し出し、要因間の関係を見出せた。また①コントラスト②応答速度③色度分布④輝度ムラについて、評価する手法を考案し、測定装置を開発した。

本稿では、評価技術の確立の一環として、官能評価と物理データ測定結果を基に画質解析を行う総合的画質評価の手法およびその評価に必要な物理データの採取に用いた自動測定システムの概要について紹介する。

The TFT full color LCD is expectedly useful device to display various informations of navigation system, TV and VICS for automotive use. Among various evaluations, that of legibility is particularly important for picture quality.

There are methods of subjective and objective evaluation (analysis of psychological data and measurement of physical data) for evaluating the picture quality.

This time, we developed the evaluation tools and technology for the physical factors: I) contrast, II) light response speed, III) range of chromaticity and IV) uneven luminance, based on the analysis of some independent psychological data obtained from the sensory evaluation.

This paper explains the evaluation tools and technology for the picture quality.

1. はじめに

LCDはその開発当初から軽量、小型、低消費電力という車載用ディスプレイに適した特徴を備えていた。そして現在では電極基板上にRGBの画素フィルタを印刷することで液晶を光制御器として動作させるCRT-TV方式を踏襲したフルカラー化にまで至っている。特に薄膜トランジスタを利用したTFTフルカラーLCD（以下LCD）は、CRT並の優れた画質を備えており、CRTに替わる新しいディスプレイとして注目されている。この傾向は特にスペースファクターの高い車載用ディスプレイに有効であり、LCDの車載化は急速に進んでいる。そして今後ますます多様化するであろう情報表示に対応するため、視認性に係わる画質の評価が重要になってくる。

以下、画質について官能評価と物理データ測定結果を基に解析を行う総合的画質評価の概要、並びにその評価応用例と物理データの採取に用いた自動測定システムの概要について紹介する。

2. LCDの画質評価

2.1 総合的画質評価

画質の評価因子は、数多くのパラメータが関連している。画質の真の評価は最終的には主観的评价により求めなければならない。総合的に画質を評価する場合、まず客観的评价を与えるものはいくつかの物理量で規定される物理的要因の集合であり、これを物理空間と呼ぶ。主観的评价を与えるものはいくつかの心理量で規定される心理的要因の集合であり、これを心理空間と呼ぶ。物理空間を構成する物理要因と、これに対応する心理要因との要因間の関係を個々に調べても画質の全体的なよしあしは決定できない。

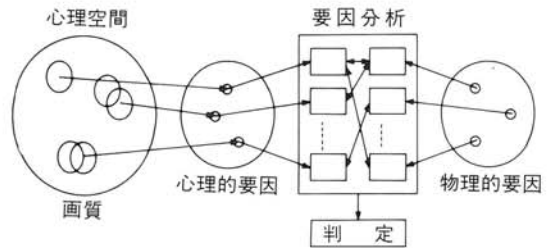


図-1 総合的画質評価

Fig.1 Synthetical evaluation of picture quality

この問題を解決する方法の1つに、ある画像を人間が見た時に受ける印象からいくつかの互いに独立な心理要因を因子分析し、その心理要因に対応する物理要因を探して物理空間と心理空間との関係を見出す方法がある。これを画質の総合的評価と呼ぶ。(図-1)

以上の様な考え方にに基づき、この総合的画質評価の手法を応用し、車載用として重要なファクタになる温度特性による画質変化を心理データと物理データで解析する手法について次章で述べる。表-1にその手法の手順を示す。

表-1 総合的画質評価の手順

手 順	内 容	備 考
①官能評価実験	LCDに温度試験を実施し、各温度での画質を評価尺度に基づいて官能評価を行う。	3.1参照
②画質に影響を及ぼす要因の抽出	①官能評価によって得られた各要因のデータの相関をとり、総合画質に影響を及ぼす要因を相関係数の高い順に複数個選出する。	3.2参照
③重みのある要因の物理データの採取	LCDに温度試験を実施し、②で抽出した要因の物理データを採取する。	3.3参照
④心理データと物理データの解析	総合画質に影響を及ぼす要因の心理データと物理データを用いて回帰分析を行う。これにより重みのある幾つかの要因の物理データを測定するだけで総合画質(官能評価値)を得ることが出来る。	3.4参照

3. 総合的画質評価

3.1 官能評価実験

3.1.1 画像の提示方法

評定者に対する評価対象はつぎの要領による。

- ① 機器 (LCD) の特性を一致させておくこと。
- ② 画像 (絵柄、大小) を一致させておくこと。
- ③ 各ディスプレイの間隔は10cm程度とし上下には並べない。
- ④ 提示時間は、評価が終了するまでは自由とする。
- ⑤ LCDの最適視方向から観測出来るようにLCDを設定する。

3.1.2 視聴条件

本来、標準視聴条件に沿って行われるべきだが恒温槽内に評価対象を設置するため、以下のような環境条件に設定することにする。

- ①ディスプレイの周囲
 - a)暗室とする (恒温槽内は暗室状態にあるので基準画面のディスプレイはカバー等で暗室と同じ条件にする)。
- ②ディスプレイのセッティング
 - a)基準画面のディスプレイは評価対象と同一の大きさの画像を用いる。
 - b)色の濃さ、色合い、コントラスト調整端子は標準値で行う。
- ③評定者とその配置
 - a)人 数：専門家10名以上または非専門家20名以上
 - b)配 列：1人ずつLCDの最適視方向から評価
 - c)視距離：画面高さの4倍 (6倍でも可)

表-2 評価項目の例

項 目	留 意 点
明るさ	明るさは十分か
コントラスト	コントラストは十分ついているか
応答速度	色残りが残らないか、動きがスムーズか
色再現性	背景や草木の色が自然に見えるか、どぎつく見える色はないか、肌色がきれいか
鮮鋭度	画のきれがよく、くっきり見えるか
解像度	細かい部分がよく見えるか
フリッカ	ちらつきがないか
バックライト	画面の明るさが均一か
階調	中間調がはっきり見えるか
総合画質	———

表-3 評価尺度

-3	-2	-1	0	1	2	3
非常に悪い	悪い	やや悪い	同じ	ややよい	よい	非常によい

3.1.3 評価項目

官能評価項目は物理データの採取が容易なものから選定する。表-2にその例と評価するときの留意点を示す。総合画質は必ず評価項目に入れる。(表-2)

3.1.4 評価尺度

評価尺度はCCIR (Comite Consultatif International des Radiocommunication) の評価語を用いる。(表-3)

3.1.5 プログラムソース

プログラムソースは次の5種とする。

- ①ITE (the Institute of Television Engineers of Japan) 肌色チャート (図-2a)
- ②カラー・バー
- ③白色画面
- ④解像度評価用ソース (図-2b)
- ⑤応答速度評価用ソース

3.1.6 温度試験

温度試験は当社の規格を基に以下のようにした。



図-2 a ITE肌色チャート
Fig.2 a Woman with carnations

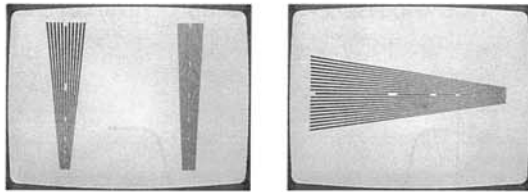


図-2 b 解像度チャート
Fig.2 b Resolution charts

- ① 測定温度：-30,-20,-10,0,20,40,60,65 [°C]
- ② 測定条件：測定温度到達後1H放置、LCDに電源投入後1Hで評価

3.2 要因の抽出

3.1官能評価実験によって得られたデータを以下の方法に従い、相関係数 r_{mj} (m =総合画質の項目番号)を求める。(表-4)

$$S_m^2 = \frac{1}{l} \cdot \frac{1}{n} \sum_{i=1}^l \sum_{k=1}^n (X_{imk} - \bar{X}_{*m*})^2 \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$S_j^2 = \frac{1}{l} \cdot \frac{1}{n} \sum_{i=1}^l \sum_{k=1}^n (X_{ijk} - \bar{X}_{*j*})^2 \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$S_{mj}^2 = \frac{1}{l} \cdot \frac{1}{n} \sum_{i=1}^l \sum_{k=1}^n (X_{imk} - \bar{X}_{*m*})(X_{ijk} - \bar{X}_{*j*}) \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$r_{mj} = \frac{S_{mj}^2}{S_m S_j} \quad \dots\dots\dots(4)$$

表-4 官能評価結果

項目 B_j	A_i (-30°C)			A_i (+65°C)		
	1 明るさ	2 コントラスト	m 総合画質	1 明るさ	2 コントラスト	m 総合画質
C_1	0	+1	0	-1	-1	-1
C_2	-1	0	+1	0	0	0
C_3	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
C_n	0	-1	+1	0	+1	+1

X_{ijk} ($i=1 \sim l$ $j=1 \sim m$ $k=1 \sim n$)

r_{mj} は総合画質と各評価項目の関係の深さを表す数値で、大きいほどその評価項目が総合画質に影響を及ぼしている。

官能評価の結果、例えば相関係数 $r_{m3}=0.85$ が得られたとすると B_3 の評価項目でかなりの程度まで総合画質の評価の代用をすることが出来る。

定量的に表現すれば、総合画質の官能評価 B_m の平方和 S_{BB} のうち72% ($r_m^2=0.72$) までも B_3 で説明することができる。

(「相関係数 r_{mj} の2乗」：寄与率)

相関係数 r_{mj} の2乗 r_{mj}^2 の値が大きく、物理データ採取可能な B_j を複数個選びだす。このとき、 r_{mj}^2 が大きいても物理データ採取不可能な B_j に対しては B_j と相関が高い B_j' を B_j の代用とすることが可能である。

3.3 重みのある要因の物理データの採取

3.2で得られた複数個の B_j の各温度に対する物理データを採取する。

物理データの測定に関して今回開発した4つの測定システムについて述べる。

3.3.1 視野角測定システム

1) システムの原理と構成

現在最も広く用いられているTN (Twisted Nematic) 方式のLCDの場合、LCDに電圧を印加すると光が透過しなくなるノーマリホワイトモードと光を透過するノーマリブラックモードの2種類がある。ノーマリホワイトモードのLCDは加える電圧を高くすることで黒みを強調しやすく、簡単にコントラストを高くしやすいため広く用いられている。

ノーマリホワイトモードの場合、LCDに電圧を印加するとLCDを透過する光が変調される。

図-3に動作電圧の印加と、透過光との関係を示す。

図-3でコントラスト比 (CR) は次式で定義される。

$$CR = Y_1 / Y_2 \quad \dots\dots\dots(5)$$

視野角範囲の定義は、コントラスト比が10以上の θ_x 、 θ_y とする。

視野角を示す θ_x 、 θ_y の定義は、図-4に示す。

測定システムの構成を図-5に示す。

2) 測定機能

①LCDの輝度 (白色画面輝度、黒色画面輝度)

②LCDのコントラスト比

③LCDの視野角特性

$$(\theta_x = -72^\circ \sim +72^\circ)$$

$$(\theta_y = -72^\circ \sim +72^\circ)$$

3) 測定治具 (図-6)

θ_x 、 θ_y の角度制御にステッピングモータを採用することにより、次の2項目を実施した。

①測定誤差の低減

1ステップあたりの角度誤差が小さく、誤差の累積がない。

②角度制御の簡略化

パルス駆動のため、位置検出器や演算回路

の必要性がなく、また停止状態で保持能力が高い。

また、次の2項目のため測定用治具をアルミ合金製にした。

③耐熱性の向上

温度試験に耐え得る。

④軽量化

モータの負担の低減。

4) 結果表示機能

測定結果の表示例を図-7に示す。

3.3.2 応答速度測定システム

1) システムの原理と構成

LCDの応答速度の定義はJIS C 7072に準じる。

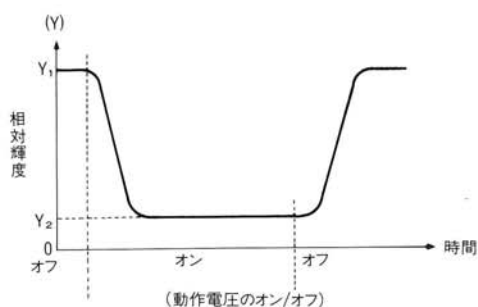


図-3 動作電圧と透過光の測光量との関係

Fig.3 Relation of impressed voltage and luminance of transmissio

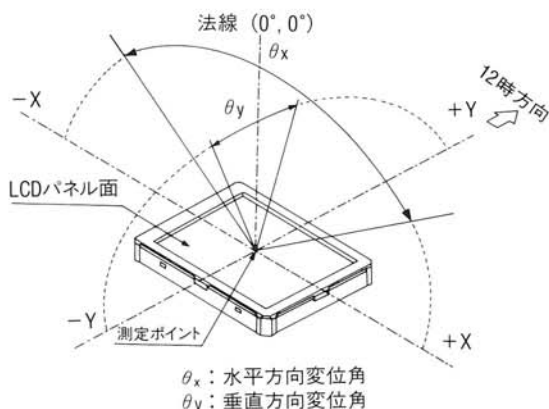


図-4 視野角 θ_x 、 θ_y の定義

Fig.4 Difinition of field angle θ_x 、 θ_y

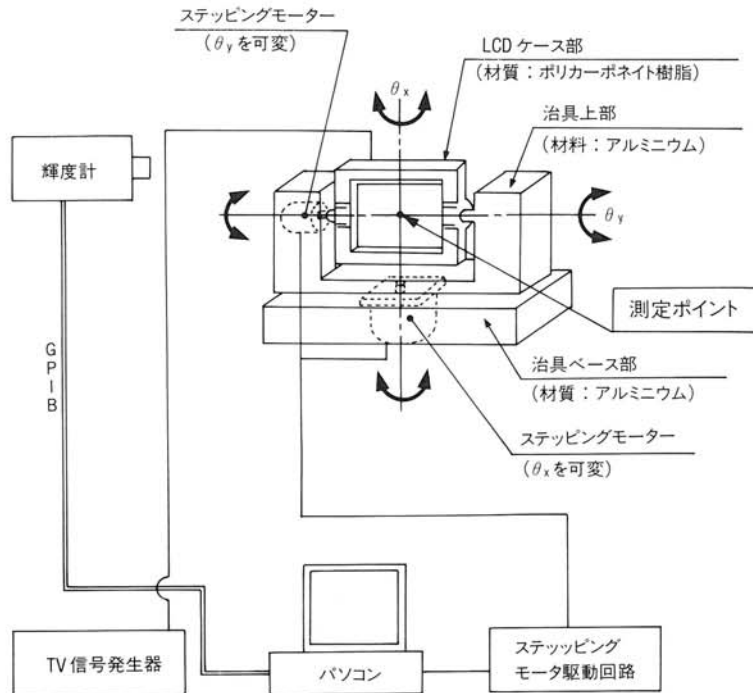


図-5 視野角測定システムの構成

Fig. 5 Measuring system for field angle

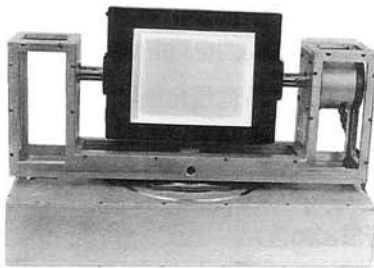


図-6 測定治具

Fig. 6 Measurement tool

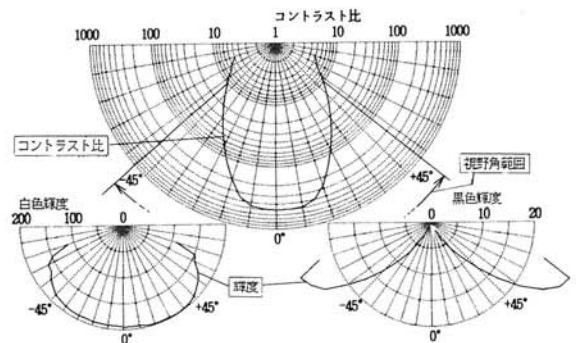


図-7 視野角測定結果表示例

Fig. 7 Measured data of field angle

以下にその内容を示す。

LCDに電圧を印加すると、LCDを透過する光が変調される。図-8に動作電圧と、供試品の光応答との時間的關係を示す。LCDを透過する光を測光器で測定する。動作電圧がオフ時の測光量を100%、オン時の飽和状態の測光量を0

%としたとき、動作電圧オン時から測光量を10%になるまでの時間を t_{on} 、動作電圧オフ時から測光量を90%になるまでの時間を t_{off} とする。応答時間を記録系（デジタルオシロスコープ）内に表示し、規定された時間關係を測定する。

測定システムの構成を図-9に示す。

2) 測定機能

①LCDの立ち上がり応答速度

②LCDの立ち下がり応答速度

3) 白黒反転表示ポイント

1画面を白から黒(黒から白)に表示切替えを行いその応答速度を測定すると、信号発生器の出力信号が白黒反転した時点から輝度計の測定ポイントが白黒反転するまでに時間的に遅れが生じることになる。この問題を解決するために、測定ポイントのみを白黒反転する信号発生回路を、キャラクタ・ジェネレータを用いて作成した。このことにより、

①測定精度の向上

②システムの簡略化

を図った。

4) 結果表示機能

測定結果の表示例を図-10に示す。

3.3.3 色度範囲測定システム

1) システムの原理と構成

CIE (Comission Internationale de

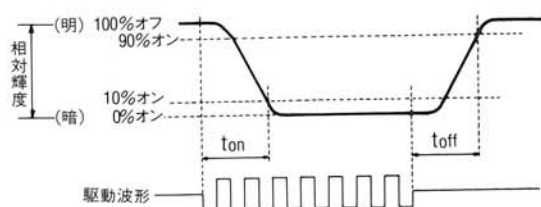


図-8 動作電圧と液晶パネルの光応答の時間関係
Fig.8 Time relation of working voltage and light response of LCD

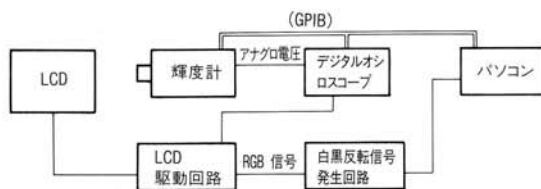


図-9 応答速度測定システムの構成

Fig.9 Measuring system for response speed

l'Eclairage) では、RGB表色系を座標変換して、スペクトルと三刺激値に負の部分のないXYZ表色系を定めた。XYZ表色系のスペクトル三刺激値 $x(\lambda)$ 、 $y(\lambda)$ 、 $z(\lambda)$ は、図-11で示され、分光分布 $P(\lambda)$ の光源色の三刺激値 X 、 Y 、 Z は(6)式で計算される。

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = k P(\lambda) \begin{bmatrix} x(\lambda) \\ y(\lambda) \\ z(\lambda) \end{bmatrix} d\lambda \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$k = 680 \text{ lmW}^{-1}$$

このとき、色度座標 x 、 y 、 z は、(7)式によって定義され色度図は、原則として図-12のような x 、 y の座標系で示される。

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} / (X + Y + Z) \quad \dots\dots\dots(7)$$

測定システムの構成を図-13に示す。

2) 測定機能

①LCDの色再現範囲

3) 色信号発生回路

LCDの色再現範囲を測定するために、多くの色信号を発生する信号発生器をD/Aコンバータを用いて作成した。このことにより、

①RGB各80階調を再現

(計512000色)

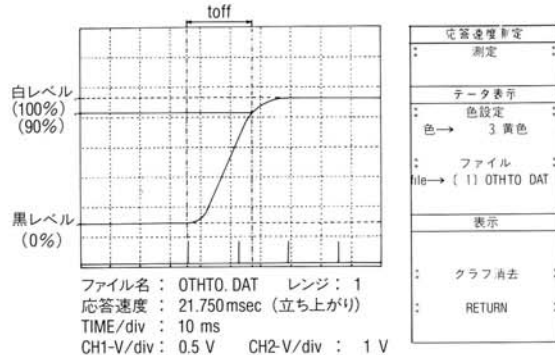


図-10 応答速度測定結果表示例

Fig.10 Measured data of light response speed

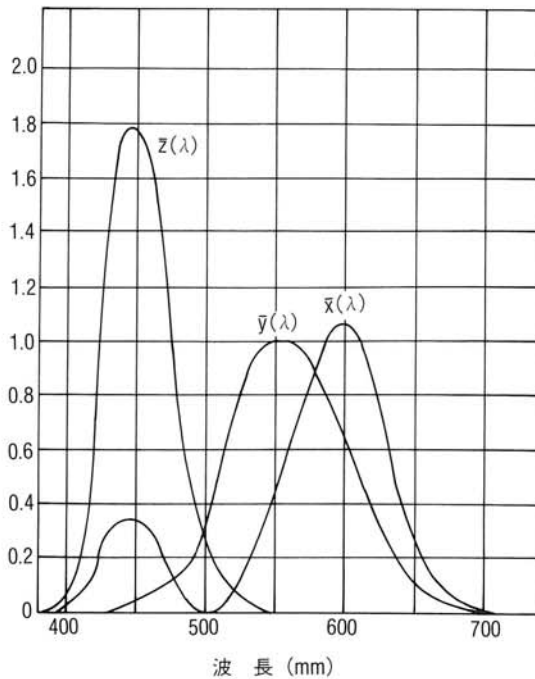


図-11 CIEスペクトル三刺激値
Fig.11 CIE spectrum tristimulus values



図-13 色度範囲測定システムの構成
Fig.13 Measuring system for range of chromaticity

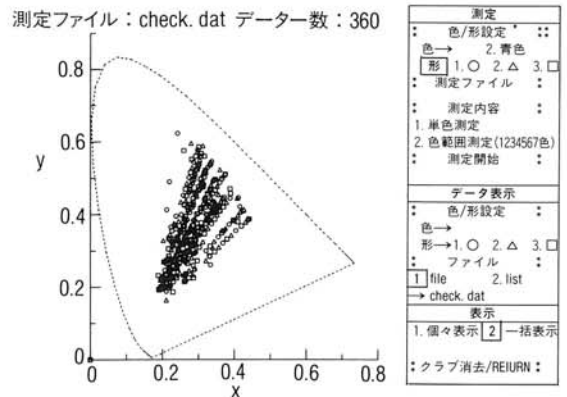


図-14 色度範囲測定結果表示例
Fig.14 Measured data of range of chromaticity

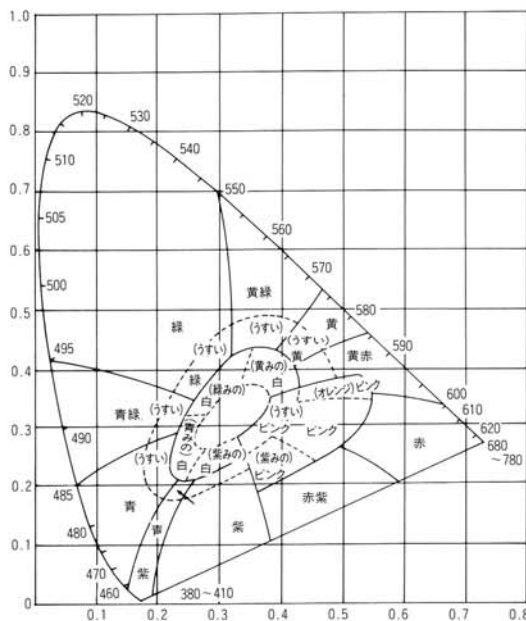


図-12 CIE色度図
Fig.12 CIE chromaticity diagram

②システムの簡略化

が図れた。

4) 結果表示機能

測定結果の表示例を図-14に示す。

3.3.4 輝度むらシステム

1) システムの原理と構成

CCD (Charge Coupled Device) カメラより得られる画像データ (コンポジット信号) を画像処理ボード内のフレームメモリ (512×512×3) に、0～255の階調データとして記録する。(図-15)

測定システムの構成を図-16に示す。

2) 測定機能

①LCD画面の相対輝度の分布

3) 相対輝度

LCD画面の輝度 (絶対値) を測定する方法だと、

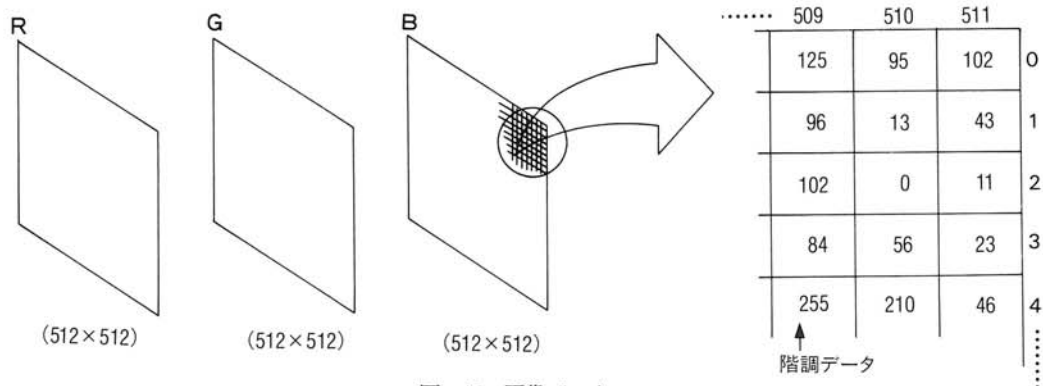


図-15 画像データ
Fig.15 Image data

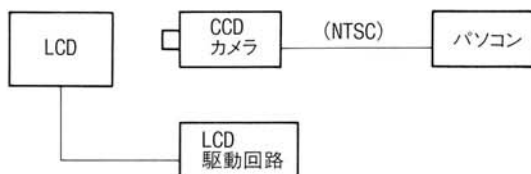


図-16 輝度むら測定システムの構成
Fig.16 Measuring system for uneven luminance

表-5 心理データと物理データの関係

温度 A_i	$A_i (-30^{\circ}\text{C})$			$A_i (+65^{\circ}\text{C})$		
項目 B_j	1 明るさ	2 コントラスト	m 総合画質	1 明るさ	2 コントラスト	m 総合画質
物理データ D_i	50 cd/m^2	100	—	60 cd/m^2	80	—

測定ポイント数が多いため膨大な時間を要するとともに、測定位置を正確に制御するための大掛かりな治具が必要になるため、LCD画面をCCDカメラにより画像データ（相対値）としてフレーム・メモリに取り込む方法を採用した。このことにより、

- ①測定時間の大幅な短縮
- ②システムの簡略化

を図った。

4) 結果表示機能

測定結果の表示例を図-17に示す。

3.4 心理データと物理データの解析

得られた物理データ D_i と総合画質の官能評価値 B_m の相関係数 r_{mj} を求め r_{mj} が r_{mj} よりあまりに小さい場合はその物理データを排除する。(表-5)

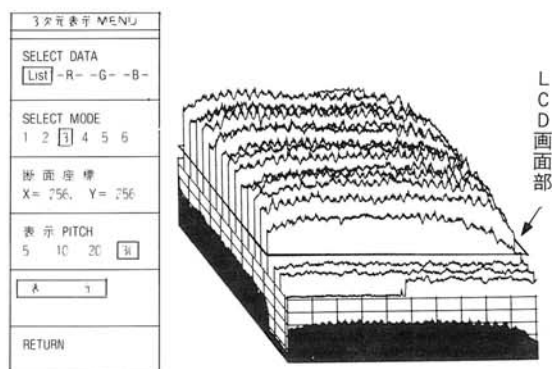


図-17 輝度むら測定結果表示例
Fig.17 Measured data of uneven luminance

このようにして得られたいくつかの物理データ D_i による総合画質の官能評価値 B_m の予測値を B_m' とすると、

$$B_m' = b_0 + b_1 D_1 + b_2 D_2 + \dots + b_n D_n \quad \dots\dots\dots(8)$$

と表される。この式を官能評価値 B_m の D_1 に対する重回帰式、係数 b_0 、 b_1 …を重回帰係数と呼ぶ。

このとき注意する必要があるのが変数 D_i の数で、多ければ寄与率が向上するわけではない。後に述べる寄与率 R^2 (15式)が高くなるように選択する必要がある。

重回帰係数は最小二乗法の原理から導かれた次の連立方程式を解くことにより求められる。

$$S_{11} b_1 + S_{12} b_2 + \cdots S_{1n} b_n = S_{1B}$$

$$S_{21} b_1 + S_{22} b_2 + \cdots S_{2n} b_n = S_{2B}$$

⋮

$$S_{m1} b_1 + S_{m2} b_2 + \cdots S_{mn} b_n = S_{mB}$$

$$b_0 = B_m - (b_1 \bar{D}_1 + b_2 \bar{D}_2 + \cdots + b_n \bar{D}_n)$$

……………(9)

ここに、 S_{11} 、 S_{22} … S_{nn} は D_1 、 D_2 … D_n の平方和、 S_{mn} と S_{mB} は D_m と D_n 、 D_m と B_m の積和で次式で表される。

$$S_{nn} = \sum (D_n - \bar{D}_n)^2 \quad \text{……………(10)}$$

$$S_{mn} = \sum (D_m - \bar{D}_m) (D_n - \bar{D}_n) \quad \text{……………(11)}$$

$$S_{mB} = \sum (D_m - \bar{D}_m) (B_m - \bar{B}_m) \quad \text{……………(12)}$$

またこのときの D_1 、 D_2 … D_n の B_m に対する寄与率 R^2 は、 B_m の平方和 S_{BB} と回帰平方和 S_R とから求めることが出来る。

$$S_{BB} = \sum (B_m - \bar{B}_m)^2 \quad \text{……………(13)}$$

$$S_R = b_1 S_{1B} + b_2 S_{2B} + \cdots + b_n S_{nB} \quad \text{……………(14)}$$

$$R^2 = S_R / S_{BB} \quad \text{……………(15)}$$

(9)～(15)式から得られた重回帰式(8)によって、最小限の物理データで総合的に画質を評価することが可能となる。

以上の手法を用いて実験を行った結果、常温以下(−30℃～+20℃)と常温以上(+20℃～

+65℃)でそれぞれ予測式を導くことによって、常温以下では寄与率0.98(要因数：1)、常温以上では寄与率0.97(要因数：2)と高い信頼性をもつ予測式を得ることが出来た。

4. あとがき

以上、今回開発した評価手法および自動測定システムの概要を説明した。

本自動測定システムは、カスタマイズした2システムが当社の受入検査、製品検査で稼働しており、品質の向上の一助となっている。

また今後の課題として、官能評価と物理データ測定結果との関係が見出せなかった要因について評価手法・測定手法の見直しを行い、総合的画質評価の精度の向上を図っていきたい。

また、自動測定システムについては、測定速度の向上や、点欠陥の有無検査等測定項目を増やすことも考えている。

以上の課題をふまえ、今後高品質化するLCDの評価技術の確立を図っていきたい。

参考文献

- 1) 岡野光治：“液晶 応用編”、倍風館、(1989)
- 2) 下村輝夫：“液晶ディスプレイの画質測定法と評価基準”、日本工業技術センター、(1989)
- 3) JIS C 7072
- 4) “音質・画質の主観評価法”、NHKエンジニアリングサービス、(1985)
- 5) 三浦新：“官能検査概論”、日科技連、(1979)
- 6) “フラットパネルディスプレイ91”、日経BP社、(1991)
- 7) 溝上雄：“テレビジョン工学ハンドブック”、オーム社、(1969)