

# 印刷物微少濃淡むらの高精度検出法に関する研究

## Study on High Quality Sensing Technique of Print Density Uniformity

技 術 本 部 山 下 博\*<sup>1</sup> 永 井 秀 明\*<sup>1</sup>

印刷機械の印刷品質を評価する工程において、印刷むらの検出は、主要な検査項目の一つである。しかしながら、この工程は、カメラ等による高コントラストな画像取得や官能評価値との対応の難しさなどから、自動化が遅れている分野であった。本研究では、照明光源の波長の違いにより濃淡コントラストが異なることに着目し、むらを強調する光源波長を選択的に用いる試みを行った。また、人間の視覚感度が対象物の空間的な大きさにより異なることに着目し、視覚のMTF (Modulation Transfer Function) をむら評価値算出に取入れ、官能評価との対応を図った。これにより、むらの高精度な画像化及び官能評価と一致したむら評価値の算出が可能となった。

In the process of the estimating printing quality, the detection of print density uniformity is one of the main factors. However, our ability to do this has not progressed. The reasons are as follows: as the contrast of the object is low, obtaining clear image data with a camera is difficult, and calculating human perception is difficult. In this study we have observed that the contrast is different according to the wavelength of the light source and we have attempted to use the wavelength of the light source emphasizing the print density uniformity. We have also observed that human visual sensitivity is different from the spatial size of an object and we have attempted to use the modulation transfer function (MTF) of visual perception to calculate the evaluation corresponding to human perception. In this way, it has been possible to obtain high quality image data to the print density uniformity and to calculate the human perception of it.

### 1. ま え が き

印刷品質の良否を決定する要因は、解像度や色間での絵柄の微少ずれ（見当性）といった物理的要因のほかに、シャープさや滑らかさといった官能的要因に大別できる。この官能的要因の一つであるむらの有無が画質の低下、品質の低下をもたらす、ある評価値を超えると印刷欠陥品と判断される。しかし、物理的なむらの計測値と人間が知覚するむらの感覚量とが、必ずしも合致しておらず、微妙なむら評価の自動化は難しいとされていた。

また、印刷品質検査におけるむらの濃淡評価基準は、熟練した検査員でなければ知覚できない程度の微少な差である。これらのむらをカメラで撮像する場合、コントラスト不足により安定した画像化が困難であった。

多くの品質検査が自動化される中、むら欠陥検査は、上記課題の難しさから自動化が進んでいない。むら欠陥検査を画像処理により自動化するためには、①微少濃淡むらの高コントラスト画像入力、②官能評価と一致する評価値の算出法、を確立する必要がある。

本研究では、液晶カラーフィルタ用のガラス印刷物を例に、光源波長選択によるむらの強調画像入力法を検討した。また、目視検査に近いむら評価値の実現において、人間の視覚特性を取入れた算出法を検討した。

### 2. むらの強調画像入力

人は、非常に微細な濃淡差をむらとして知覚する。これを安定してカメラにより撮影するには、画像入力前にコントラストを強調する必要がある。ここでは、印刷法により製造される液晶用のカラーフィルタを例に、むらのコントラスト向上を検討する。

図1に示すように、印刷法による液晶用カラーフィルタは、通常、遮光のためのブラックマトリックスが蒸着されたガラス基板上に赤、緑、青の3種のインキが印刷されている。このインキ膜

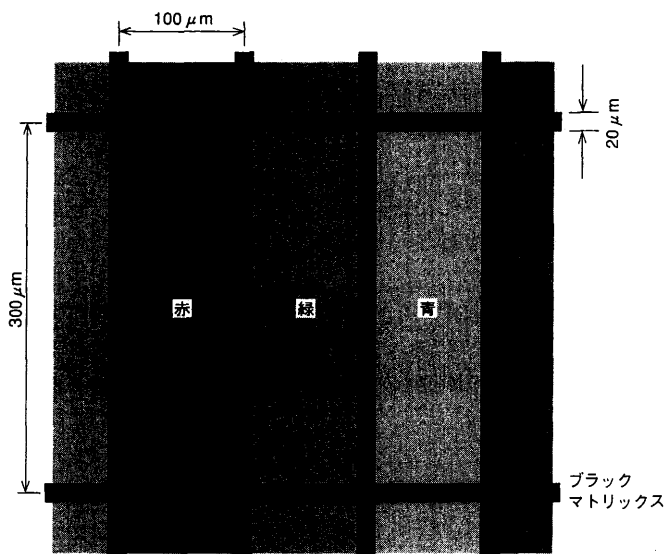


図1 代表的液晶カラーフィルタの模式図  
Figure of typical LCD color filter

厚の変動が透過光量の変動をもたらす、濃淡むらとして知覚される。

インキ膜厚と透過光の関係は、式(1)により表すことができる。

$$T = \frac{I}{I_0} = e^{-at} \quad (1)$$

ここで、

$T$ : 光の透過率

$I$ : 透過光量

$I_0$ : 入射光量

$t$ : 膜厚

$a$ : インキと波長により決める係数

式(1)から、膜厚が $\alpha$ 倍になると透過率 $T$ は $T^\alpha$ に変化する。

\*<sup>1</sup> 広島研究所色彩・画像研究室

例えば、ある膜厚における透過率が80%の波長光は、膜厚が2倍に変化すると透過率は64%に低下する。一方、同様の膜厚で透過率が40%である波長光は、16%に低下する。前者の光量低下は入射光の16%であるのに対し、後者の場合、24%に拡大する。つまり、同じ膜厚変化でも光の透過率の違いにより、透過光量差に違いが生じる。この光量差を広げる波長を選択的に用いることによりむらのコントラスト強調が可能となる。

膜厚  $t$  による透過率  $T$  の変化は、式(1)から式(2)となる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial t} &= -ae^{-at} \\ \frac{\partial}{\partial a} \left( \frac{\partial T}{\partial t} \right) &= e^{-at}(at-1) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

したがって、 $at=1$  のとき、透過率の変化は最も大きくなる。

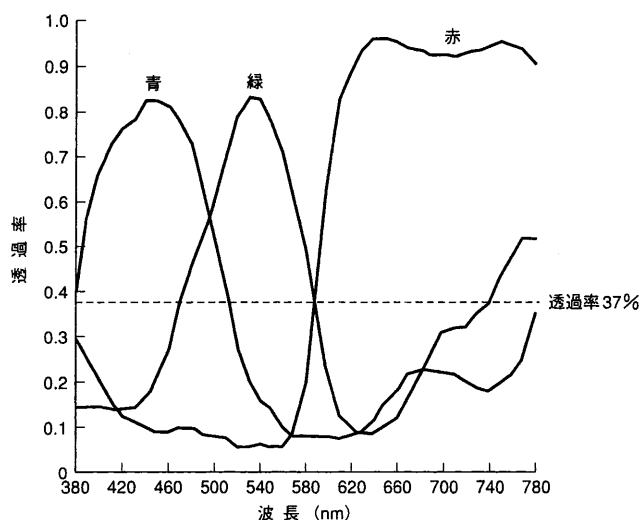


図2 赤、緑、青各インキの分光透過率 代表的赤、緑、青各インキの基準膜厚時における透過率を示す。  
Spectrum transparent ratio of Red Green and Blue ink

このときの透過率は、式(3)となり、膜厚変化による透過光量の変化は、透過率37%の波長光が最も大きいといえる。

$$T = \frac{1}{e} = 0.37 \quad (3)$$

各インキの基準膜厚における代表的な分光透過率の例を図2に示す。上記検討から、赤と緑のインキには、590 nm 付近の波長光、青のインキには510 nm 付近の波長光を用いることにより、むらの濃淡コントラストが向上する。図3に、蛍光灯光源と低圧ナトリウムランプの分光エネルギー比を示す。低圧ナトリウムランプは、赤と緑のインキ膜厚変動を強調する589 nm に輝線がある光源である。図4は、上記光源により、撮影したカラーフィルタの画像を示す。白色光である蛍光灯光源に比べ濃淡差が強調され、通常のカメラで十分撮影可能なコントラストが得られることが分

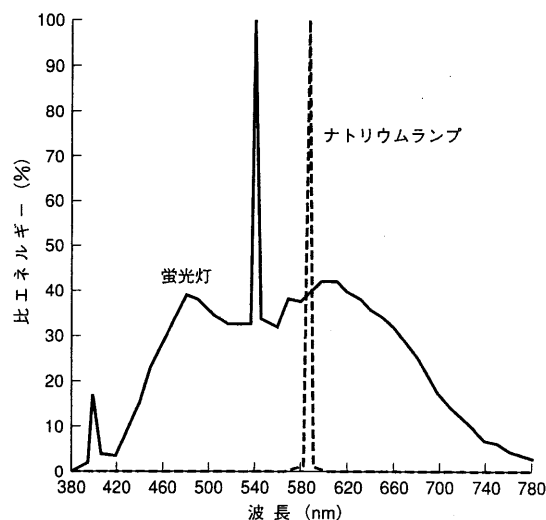
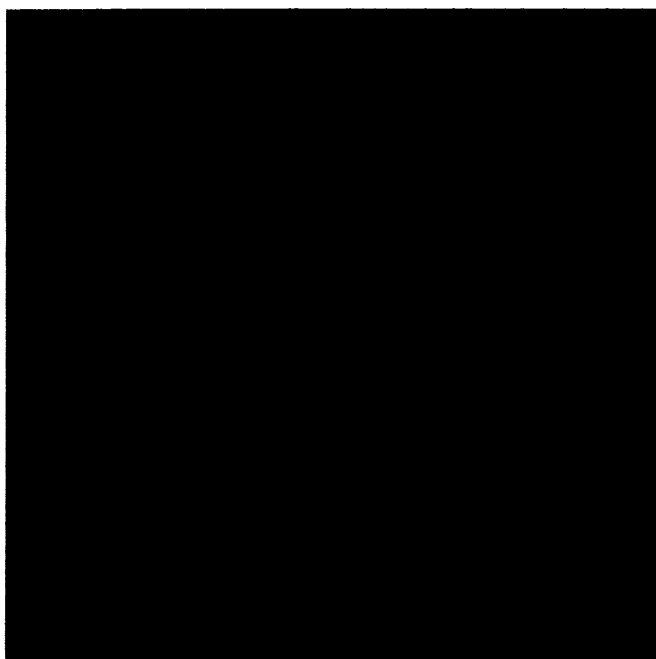
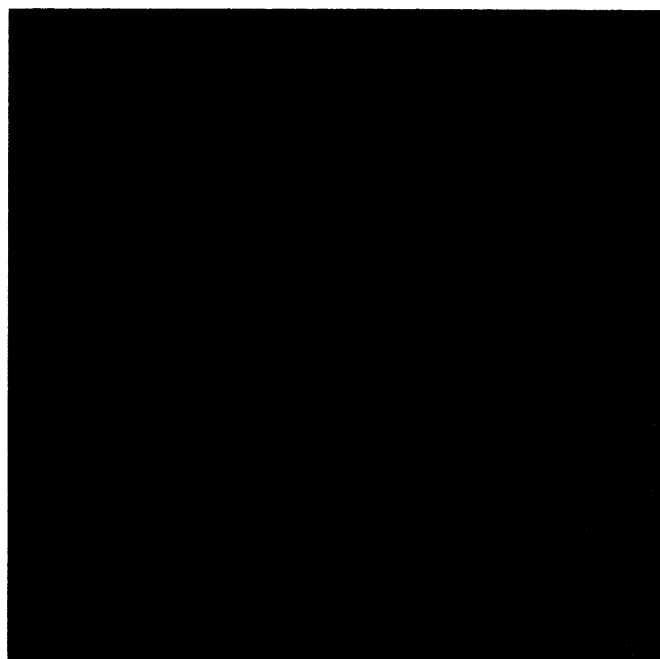


図3 蛍光灯とナトリウムランプの分光エネルギー比  
Spectrum energy ratio of fluorescent light and sodium lamp



(a)



(b)

図4 光源の違いによる濃淡コントラストの差 (a)は通常光源(蛍光灯)による撮影結果、(b)はむらを強調する光源(ナトリウムランプ)による撮影結果を示す。  
Contrast comparison of difference light source

かる。インキ膜厚変動を強調する波長は、インキ色によりそれぞれ異なる。これらの波長光源は、光の干渉を用いた波長バンドパスフィルタにより作成可能である。

### 3. むらの評価手法

むらは、画像の濃淡不均一性に起因する。この不均一性を表す一般的な尺度は、入力画像の輝度レベルのばらつき（標準偏差）で表現される。しかし、不均一性の中にも人が知覚する不均一性と知覚しない不均一性が存在する。物理的な不均一性を評価値とした場合、官能評価と必ずしも一致した結果とならない。

むらを検出するためには、人間が知覚する不均一性を評価する必要がある。

#### 3.1 むらと視覚特性

人間の視覚は、その空間的な周波数により、濃淡に対する知覚感度が異なる<sup>(1)(2)</sup>。図5に、視覚の空間周波数感度特性（MTF：Modulation Transfer Function）を示す。横軸は、空間周波数（CPD：cycle/degree）であり、縦軸は相対感度を示す。

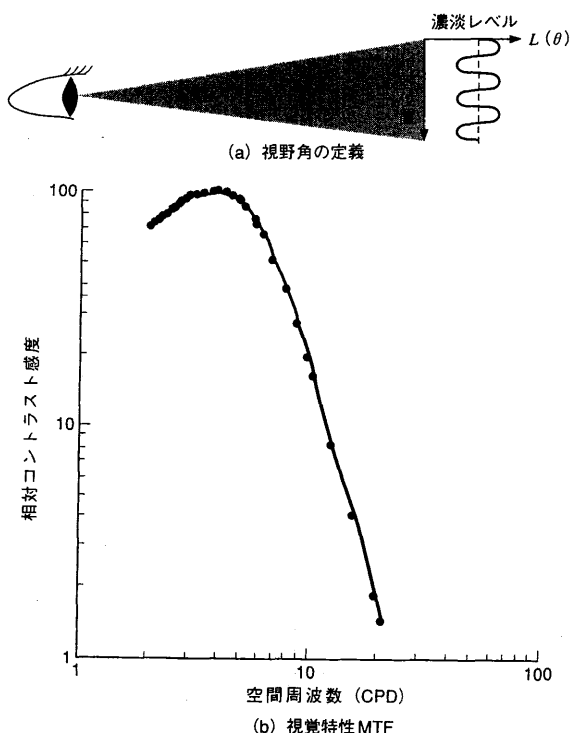


図5 視覚のMTF (a)は視野角の定義、(b)は視覚の空間周波数感度特性を示す。  
Modulation Transfer Function of human visual perception

空間周波数3 CPDの相対コントラスト感度とは、視野角1°の範囲に正弦波状の濃淡パターンが3周期含まれる濃淡に対する感度を示す。図5に示すように、人間の濃淡に対する感覚は、3 CPDをピークとする帯域通過型のフィルタ特性を示す。

各空間周波数の物理的な大きさは、その観察距離により変化する。通常の印刷物の観察距離を500 mmと想定した場合、最も知覚感度の高い3 CPDの物理的な大きさは、2.6 mm/cycleとなる。

#### 3.2 視覚特性を考慮したむら評価手法

目から入った情報は、視覚の伝達関数により変調され、知覚イメージとなる。このときの伝達関数が視覚のMTFである。した

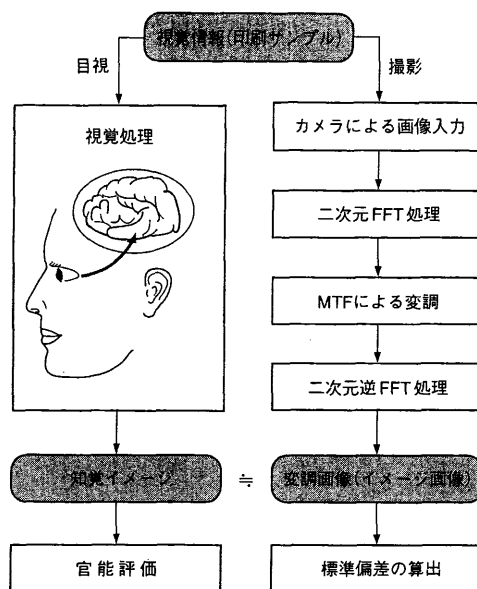


図6 むら評価値算出のフロー 左側は人の知覚処理を、右側はむら評価値の算出のフローを示す。人の知覚するイメージと同等な画像を上記処理により生成する。  
Flow graph of calculation uneven defect

がって、入力画像を二次元フーリエ変換し、各空間周波数のパワースペクトルに視覚のMTFに応じた重みを掛け、逆フーリエ変換することにより、知覚イメージに近い画像（ここではイメージ画像と称す）に変換することができると考えられる（図6参照）。

イメージ画像への変換は、対象画像を500 mmの距離から観察したときの空間周波数に換算し、MTFの近似式<sup>(3)</sup>、式(4)を用いて、各空間周波数のパワースペクトルを乗算することにより行った。

$$H(f) = 0.31 + 0.69fe^{-0.29f} \quad (4)$$

ここで、

$H$ ：重み係数

$f$ ：空間周波数（CPD）

上記手法により、視覚感度の低い大きさのむらは弱められ、視覚感度の高い大きさのむらのみ残される。このイメージ画像の不均一性（輝度レベルの標準偏差）が人間の知覚している不均一性であると考えられる。

次に、上記処理による評価値の算出が、人間のむら評価と合うか目視実験により検証した。

実験条件と手順を表1に示す。

サンプルを画像入力し、実験の結果を2通りの方法で検討した。

(1) 入力画像の輝度レベルの標準偏差とむらを知覚した人数の関係を調べる [図7(a)参照]。

表1 目視評価試験の実験条件と手順

Experiment condition and procedure of experiment

|       |                                                          |
|-------|----------------------------------------------------------|
| 被験者   | 成人男女20名                                                  |
| 観察距離  | 500 mm                                                   |
| サンプル  | 50×50 mmの<br>むら評価用印刷サンプル<br>(Fujix Pictography 3000にて出力) |
| サンプル数 | 40点                                                      |
| 手順    | 対象観察し、以下に弁別。<br>① むらが知覚されたサンプル<br>② むらが知覚されないサンプル        |

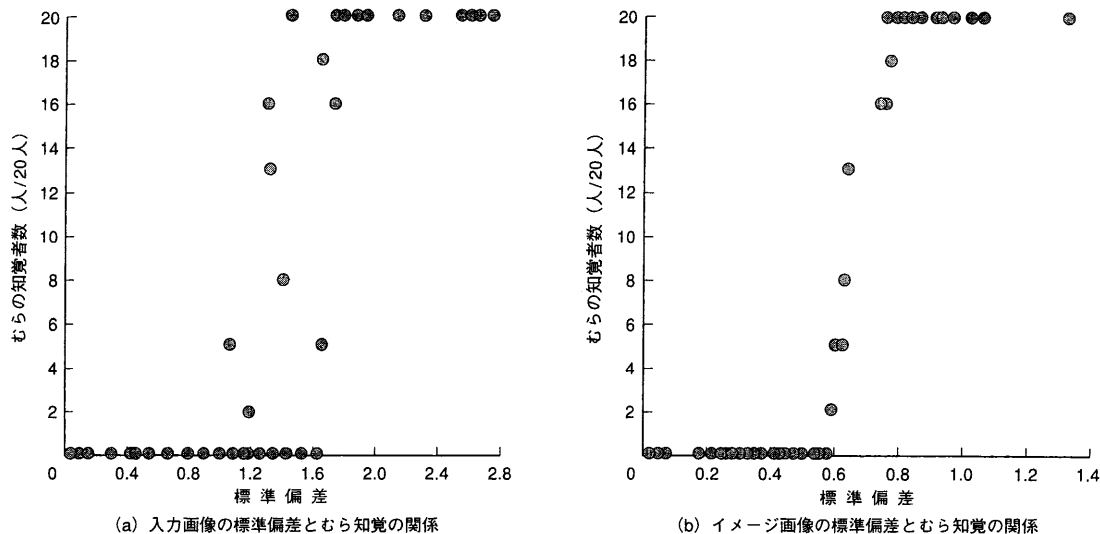


図7 目視評価実験の結果 (a)は入力画像の標準偏差とむら知覚の関係、(b)はイメージ画像の標準偏差とむら知覚の関係を示す。  
Result of experiment

(2) 入力画像をイメージ画像に変換し、その輝度レベルの標準偏差とむらを知覚した人数の関係を調べる [図7 (b) 参照]。

入力画像の標準偏差を評価値とした場合、同じ評価値でもむらの知覚率がばらつき、感覚とは一致しないことが分かる。一方、イメージ画像の標準偏差を評価値とした場合、0.6 付近からむらの知覚が始まり、0.8 を超えるとほぼ全員がむらを知覚した。0.6 付近をしきい値とすることにより、人の感じるむらのみを検出することが可能となる。評価値とむらの知覚率の関係は安定しており、イメージ画像の標準偏差が評価値として有効であることが分かる。

#### 4. む す び

印刷物を見るときに、人は微細な濃淡変動を見つけ、それをむらとして知覚する。むら検出工程においては、安定した画像入力と適切なむら検出アルゴリズムが必要となる。

本研究により印刷物に照射する光源波長を選択的に用いて、むら画像のコントラストを最大限に引上げることが可能であること

が実証でき、その波長選択基準を得た。これにより、より安定したむら画像入力が可能となった。

また、官能評価に合致した印刷濃淡むらに対する定量評価の問題については、人間の空間的視覚感度特性を加えたアルゴリズムを使用することにより、目視評価に近い対応を得た。

本研究により、従来、目視による官能評価が中心であった印刷物のむら欠陥検査を、自動化することが可能となる。

#### 参 考 文 献

- (1) 畑田, 濃淡画像と視覚特性, O pulse E No.60 (1984) p.90
- (2) 畑田ほか, カラー画像と画質評価, 技術情報協会 (1992) p.18
- (3) K. R. RAO, Human Visual Weighted Progressive Image Transmission, IEEE Transaction on communications Vol.38 No.7 (1990) p.1 040