



カラー印刷画像の計測評価

弓 木 慶 一

小西六写真工業(株)技術サービスセンター 〒191 日野市さくら町1

(1983年4月18日受理)

Quantitative Evaluation of Color Printed Images

Keiichi YUMIKI

Technical Service Center, Konishiroku Photo Industries Co. Ltd.,
1, Sakura-machi, Hino 191

1. 序

印刷は、ルネッサンスの三大発明の一つといわれ、人間の文化、コミュニケーションの発展に大きく寄与してきた。印刷物の普及に大きく貢献したのが、写真製版印刷技術と生産設備の驚異的な進歩であり、今日ではその集大成ともいえるカラー印刷物にも、われわれはいたるところで接することができる。さて、われわれの身の回りにおけるカラー印刷物のなかには、目を見はるほど素晴らしいできればえのものもあれば、色、調子が不自然なものもある。カラー印刷物は、図1に示すような工程を経て得られるが、印刷物の絶対品質は、ほとんどがフィルムメーカーの段階までで決定されてしまい、校正によりその品質が確認される。われわれが接する印刷物は、校正により確認された品質が俗に本機と呼ばれる印刷機(枚葉機、輪転機など)により大量複製された一部であり、その良否は印刷条件に左右されるわけである。しかしながら、印刷部門における品質管理はまことに遅れており、いまだ印刷機機長の経験と勤による官能的評価に頼っているのが現状といっても過言ではない。よって上述したようないわばばらつきが生じるわけであるが、今日のような低成長期においては、印刷物の品質向上が要求され、客観的な評価手法の導入が必要となってきた。そこで本稿では、印刷品質を形成している種々の品質特性の計測評価法について述べてみたい。

注1) 印刷方式には、凸版、平版(オフセット)、凹版、孔版の4方式があり、おのおの特長をもっているわけであるが、今回は現在最も普及しているオフセット印刷物に限

定したい。

注2) 今回述べるカラー印刷物とは、アルミ平版(PS版)を用いて印刷されたポスター、カレンダー、美術書などの高級商業印刷物をさす。

2. カラー印刷物の構成要素と変動要因

印刷においては、絵柄の階調の変化(明るいところ(ハイライト)から暗いところ(シャドウ部)まで)を網点の大小で表わすことはご承知のことと思う。カラー印刷物の場合は、色材の三原色であるシアン(C)、マゼンタ(M)、イエロー(Y)に加えてブラック(BI)の網点があり、さまざまな色調、明るさを織りなしている。カラー印刷物の品質を論ずる場合のポイントは、①濃度レンジの広さ、②階調の豊かさ、③カラーバランス、④つや、ボリューム感、⑤シャープネス、ざらつき感などに集約されると思うが、これらの品質特性は、被印刷体である紙および着色物であるインキの性質、性状、そしてプロセス(刷版、印刷条件)の良し悪しに左右されることは確かである。図2に示されるように印刷品質を変動させる要因はきわめて多く、また複雑に絡みあっている。とくにオフセット印刷は、湿し水とインキの反発を利用して版の画線部にインキを着け、ブランケット→紙へとそのインキを圧により転移させる方式であり、絵柄をつくりだす網点の形状(大きさ、インキ膜厚など)が変化しやすい。よって印刷画像の計測評価のポイントは、いわば画素である網点、あるいはその集合体をどのような手段で評価するかにあるといえよう。

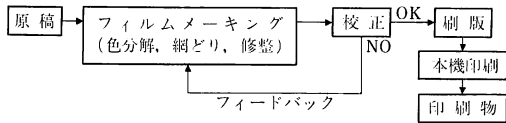


図1 印刷物の製作工程

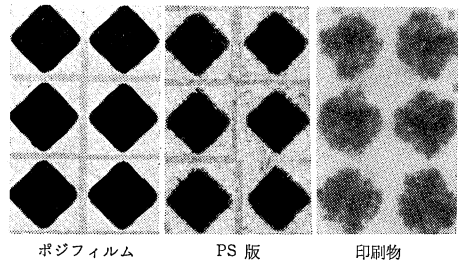


図3 各プロセスにおける網点変化

3. カラー印刷画像の計測評価項目

ここでは、カラー印刷画像の一般的な計測評価方法について、考え方、使用チャート類、実験例をまじえて述べてみたい。

3.1 ベタ濃度

ベタとは網点面積率 100% のことであり、印刷物にいかにかインキが盛られているか、インキ被膜の厚さを反射濃度で代用して表わす。ベタ部の反射濃度で印刷物全体のインキ盛れ具合を代表させるわけである。

印刷物の濃度レンジを広げるには、インキを盛れば盛るほどよいが、後述する網点再現性、階調性、カラーバランスなどとの関係から、一般に各インキ濃度は、 $B \approx 1.9$, $C \approx 1.6$, $M \approx 1.4$, $Y \approx 0.9$ が適当とされている。

3.2 網点 (面積率) 再現性

図3の写真に示すように、版上の網点は、刷版露光時の光の回り込み、版支持体上での光の乱反射により、ポジフィルムの網点に比し小さめに再現^{*1}され、印刷物上の網点は、インキを転移する際の圧力をはじめ、諸印刷条件により、版上の網点に比し大きく再現 (ドットゲインという) される。

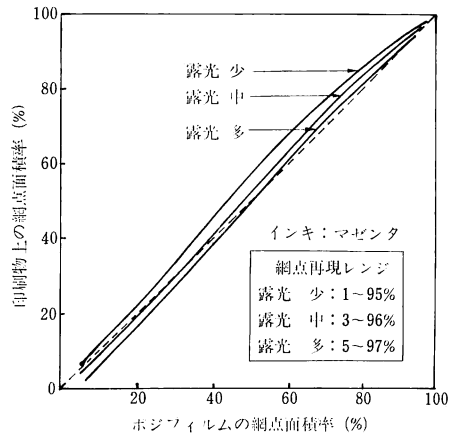


図4 刷版露光条件と印刷物の網点再現性

^{*1} 印刷版 (PS版) にはポジ型 (ポジフィルム使用, 光の当たった部分は現像液に溶解するため, 上記のように網点は小さめに再現される) とネガ型 (ネガフィルム使用, 光の当たった部分が硬化により画線部になるため版上でもドットゲインが生じる) があるが, 印刷物のドットゲインを少なくさせるため, 一般に絵柄の印刷物にはポジ型 PS版が使用される。

ンという) される。

網点再現性の評価ポイントは、ポジフィルムの網点がいかに忠実に印刷物上で再現されるかであり、ポジフィルムと印刷物の網点面積率の相関カーブと専用チャート (チャート No. 2, 3) から得られる網点再現レンジ (ハイライトの再現とシャドウ部のつぶれ) を調べる。

図4に刷版時の露光条件を変化させた場合、図5にインキ量を変化させた場合の実験例を示す (図中の 45° の

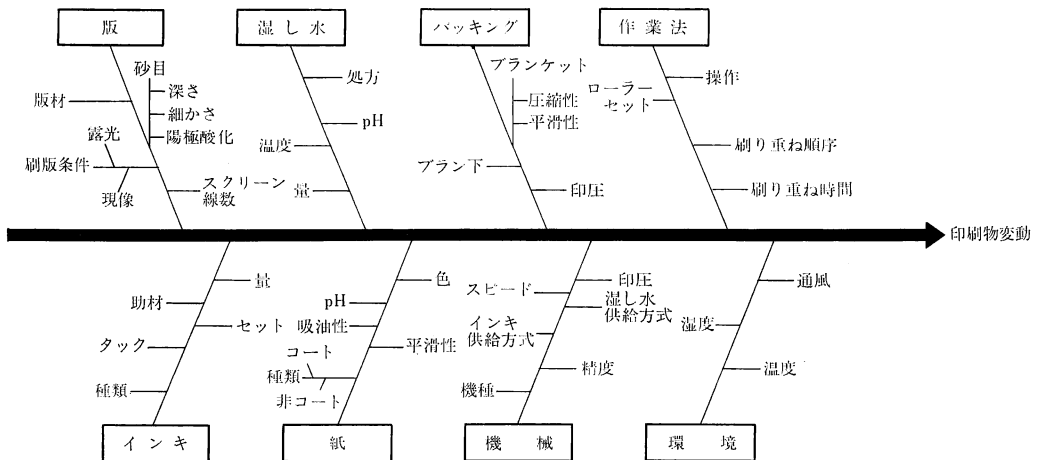


図2 印刷物品質の変動要因

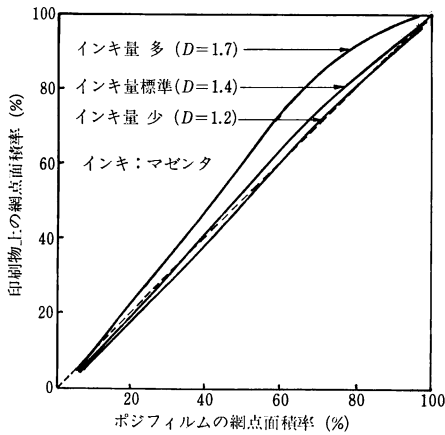


図5 インキ量と印刷物の網点再現性

直線が理想再現). 図4から, 露光を増やしたほうが中間調からシャド一部にかけては忠実再現に近くなるが, ハイライトは損なわれていくのがわかる. また, 図5から, インキ量が少ないほうが忠実再現に近いのがわかる.

3.3 解像力

カラー印刷物の解像力は, ①スクリーン線数 (単位長に並ぶ網点の数, line/inch で表わす), ②網点再現レンジ, ③見当性 (4色の刷り重ね位置精度) に左右される. 解像力をよくするためには, 画素すなわちスクリーン線数を細かくすればよいが, あまり細かく (300 line/inch 以上) するとモアレ (干渉縞) が発生し, はなはだ見苦しくなる. 実用的には印刷用紙, 印刷機, インキ盛り量との関係から, 200 line/inch あたりが最大といわれている. 具体的な評価方法は, スクリーン線数の影響を受ける網点再現レンジ (網点再現性評価と同様) と, 俗にトンボと呼ばれる見当合せマークの狂い (ズレ) を調べる. 見当は網点1個 (スクリーン1本分) の狂いで絵柄の解像力に大きな影響を与える.

注) レンズ, 写真乳剤の解像力評価に用いられる MTF (modulation transfer function) は文字印刷物および光学読取用印刷 (バーコードなど) 評価には価値ある方法であるが, カラー印刷物 (網点による印刷物) においては網点再現レンジで代用できるため一般的には用いられていない.

3.4 階調性

階調性とは, 網点の大小により表現される濃淡の再現性のことである. 網点面積率 a の場合の濃度 (調子濃度) D_t は理論的には (1) 式で表わされる.

$$D_t = \log \frac{1}{1-a} \quad (1)$$

表1 n 値 (ユール・ニールセン)

スクリーン線数	コート紙	非コート紙
64 line/inch	1.3	2.0
150 line/inch	1.8	—
300 line/inch	3.0	—

しかし, この式には有限であるインキ濃度が考慮されておらず, ベタ部 ($a=1.0$) の濃度は無限大になってしまう. そこでインキ濃度 (D_s) を考慮して (1) 式を変形すると, マレー・デビスの式 (2) が得られる.

$$D_t = \log \frac{1}{1-a(1-10^{-D_s})} \quad (2)$$

さらに, スクリーン線数, 紙質などの光学的特性を研究し, そのファクターを (2) 式に取り入れたのが, ユール・ニールセンの式 (3) である.

$$D_t = n \log \frac{1}{1-a(1-10^{-D_s/n})} \quad (3)$$

n は紙質, スクリーン線数によって決まる係数で, 表1³⁾の値が報告されている.

階調性は, ポジフィルムの網点面積率と印刷物上の濃度の相関曲線から調べる. 図6に図5で使用した試料による測定例を示す. この図から, インキ濃度が低いほうがユール・ニールセンの曲線に近接し, 理想再現に近いことがわかる (図6中のユール・ニールセンの曲線は, $n=1.8$, インキ濃度=ベタ濃度として作成).

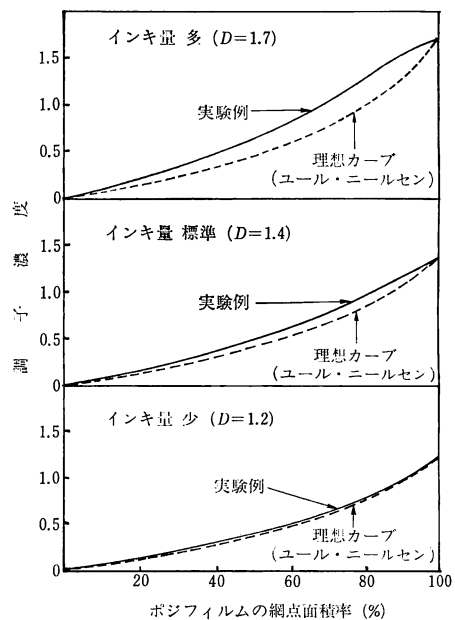


図6 インキ量変化と印刷物の階調性

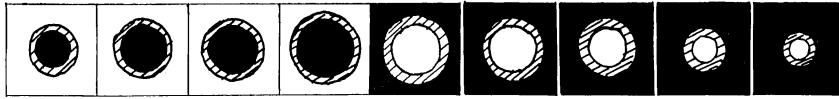


図7 ドットゲイン (斜線部)

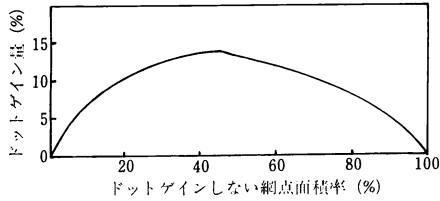


図8 ドットゲインによる網点面積率の増加

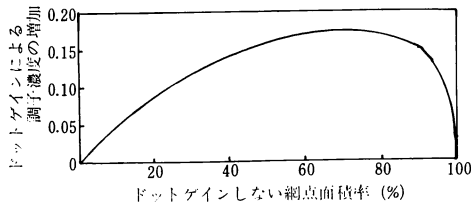


図9 ドットゲインによる調子濃度の増加

$n=1.8$, ベタ濃度 1.4 としてユール・ニールセンの式に代入

さて、階調性をより簡単に評価する方法も紹介されている。この方法は、階調性を変化させる主因はドットゲインであるという考えに基づいている。ドットゲインが図7のようにハイライトからシャドー部まで均一な幅で生じたとする。ドットゲイン有無の網点面積率の関係を計算すると、図8に示すように網点面積率の増加の最も大きい網点パーセントは50%付近になるわけであるが、濃度の増加が最も大きい網点パーセントは70~80%の部分であるのが図9よりわかる。

すなわちドットゲインを最も鋭敏に濃度増加としてとらえられる網点パーセントのチャート(チャート No. 4, 5)を用い、印刷物上におけるその部分の濃度とベタ濃度との相対コントラストを求め、階調性の代表にする方法である。

$$\text{相対コントラスト} = \frac{D_s - D_H}{D_s} \quad (4)$$

ただし、 D_s はベタ濃度、 D_H は網点部濃度。

(4)式から、相対コントラストの大きいほうが、ドットゲインが少なく、階調性は良好ということになる。

3.5 トラッピング

トラッピングとは、多色刷の際、先刷りインキ被膜上に後刷りインキが転移する割合を表わす。インキは紙上よりもインキ被膜上のほうが転移しにくく、図10に示

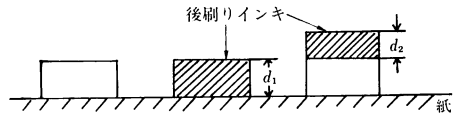


図10 トラッピング

すように、先刷りインキ被膜上の後刷りインキの膜厚(d_2)は紙上に直接印刷したとき(d_1)より薄くなる。とくに最近のカラー印刷物は4色機で連続して印刷されるため、wet to wetの刷り重ねになりこの傾向が強い。

単色刷りした部分の先刷りおよび後刷りインキの濃度をそれぞれ D_1 , D_2 , 2色重なった部分の濃度を D_{1+2} とするとトラッピング率は(5)式で算出される。

$$\text{トラッピング率} = \frac{D_{1+2} - D_1}{D_2} \times 100 \quad (5)$$

ただし、 D_1 , D_2 , D_{1+2} とも後刷りインキの補色フィルタで測定する。

トラッピング率は高いほうが良好であり、低トラッピング率の場合は印刷物のカラーバランスに悪影響を及ぼす。

3.6 カラーバランス (グレーバランス)

印刷物を見て、たとえば女性の顔が青ざめていると

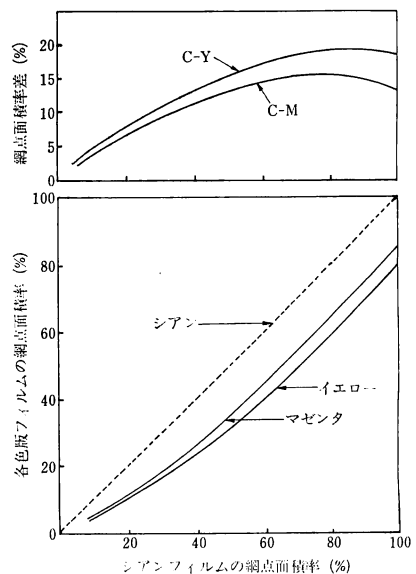


図11 ニュートラルグレイをつくるための網点面積率の関係

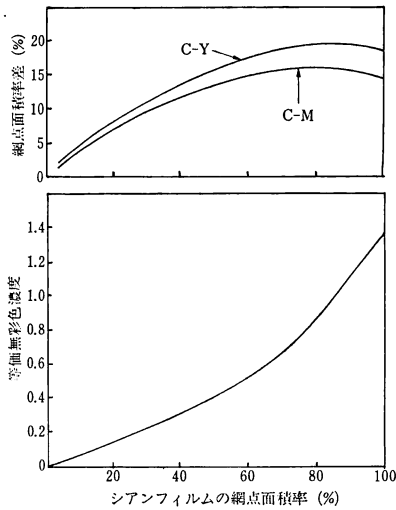


図 12 等価無彩色濃度と網点面積率の関係

か、赤味が強いとか感じることもあると思う。印刷物のカラーバランスを検討するため、正しく3色(C, M, Y)が刷り重ねられた場合、ニュートラルグレイ(無彩色)になるようなチャート(チャート No. 6)がある。色材の三原色を刷り重ねてニュートラルグレイになる網点面積率の関係は、図 11²⁾に示すようになっている(このグラフは、数多くのテスト結果から得られた実験値をもとに作られた)。シアンフィルム上の網点面積率を基準に考えるとマゼンタおよびイエローはシアンより小さい網点面積率でグレイバランスがとれることがわかる。

上記の網点面積率によりつくられたグレイの濃度は等価無彩色濃度と呼ばれ、図 12²⁾に示すような関係になるといわれている。

紹介したチャートは、上記の考え方に基づいており、印刷物上で3色刷り重ねられたときの色調と濃度をブラック単色で刷られた部分と比較する。

3.7 光 沢

光沢も印刷物の評価として重要なファクターを占めている。光沢に影響を与える因子として、紙の性状(平滑性、多孔性)、インキの性質(レベリング性、乾燥性)、印刷条件(インキ量、湿し水量)などが上げられる。

光沢を測定する手段として、光沢度計、変角光度計があり、図 13に光沢の考え方を示す。入射角*i*で入射した光*I*は、受光角*θ*を変化させると、測定物が理想鏡面の場合は*θ=i*のときのみ強い反射光*S*ができる。また、理想拡散面の場合は*θ*の大きさにかかわらず弱い反射光*D*ができる。実際の測定物の場合は、図中の*H*や*L*のように*S*と*D*が混合した形になる。一般的な光沢表示法は、

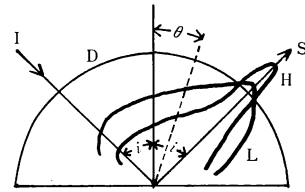


図 13 光沢

座標 $I-\theta$ 曲線の S 成分の大きさのみをとらえて、「光沢 = S 成分の反射率」としている。図 13 の例でいえば、 H のほうが L より光沢が高いということになる。

しかし、印刷物の光沢については、測定法(入射角、受光角)、表示法(「光沢 = S 成分の反射率」のみでよいか?)などの論議がまだ多く、感覚的評価と一致しない場合が多いが、測定技術の進歩とともに評価法は確立されていく方向であると考える。

以上が一般的なカラー印刷画像の計測評価項目であるが、これらの特性はおおの独立しているのではなく、たとえば、「インキを盛り込めば濃度レンジが広く光沢のある印刷物が得られるが、ドットゲインが大きくなり、階調性、カラーバランスが損なわれる」ように互いに関連をもつ。よって上記項目のすべてを満足することはなほだ困難であり、被印刷物(絵柄)の種類、印刷物の表現目的などに応じてポイントをある程度絞った評価が必要と考える。

4. 網点品質の評価

いままで述べてきた計測評価項目で欠けているのが網点自身の評価である。印刷画像は網点(画素)の集合により成り立っているわけであるから、個々の網点が印刷物の品質に影響を与えることは確かであるにもかかわらず、現在でもルーペ、万能投影機、顕微鏡で官能評価されているにすぎない。印刷物生産設備の発達に比較し大きく遅れているのが網点計測機器であり、網点面積率ですら簡単に測定できるようになったのは、昭和 48 年にエアアダック(小西六写真工業)、ビューバック(東洋インキ製造)が開発されてからである。ここでは筆者らが試みている画像解析機器(小西六写真工業が網点解析機器として開発)を使用した網点品質の計測評価法について述べてみたい。

4.1 画像解析機器

4.1.1 サクラエアアダック 1500

サクラエアアダック 1500 は、光学顕微鏡、ITV ヘッド、計測部、モニターテレビより構成される。ITV ヘッドに結像された網点の光信号は電気信号に変換され、計測

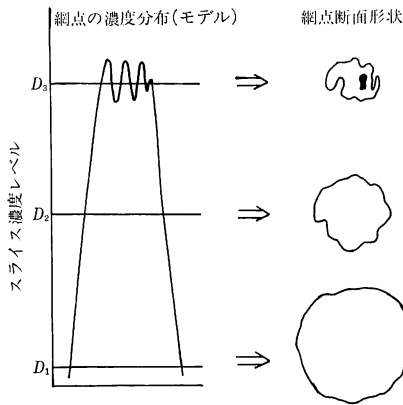


図 14 網点解析の考え方

部で網点面積率を計算する。この機器の大きな特長は種類の濃度で網点をスライスできる点である。測定する網点が図14の左図のような濃度分布をもっていた場合、右図のようにスライス濃度レベルに応じた断面形状がテレビモニタ上に表わされる。しかもおのおの断面の網点面積率も計算され表示されるため、網点を三次元的に計測できるわけである。

4.1.2 サクラパミック 8800

サクラパミック 8800 (図15) は、エリアダックにマイクロコンピュータが搭載され、エリアダックの機能に加えて、任意の網点(ライトペンで指示)の面積、周囲長、粒径、水平長、垂直長、最大長が得られる。さらに上記測定項目のおのおのについて、モニタテレビに映し出された範囲内で頻度分布、最大値、最小値、平均値も得られる画期的な画像解析機器である。これにより個々の網点の品質(形状、濃度分布など)までミクロ的に解析することが可能になったわけである。

4.2 画像解析機器による測定例

図16に、エリアダックにより得られた印刷物上の網点の濃度分布を示す(ただし、エリアダックには個々の網点面積、粒径は得られないので、測定枠内の網点を凝集させた形で表示してある)。この図から、網点面積率の小さい網点(ハイライト)ほど網点の濃度は低いことがわかる。

図17は、パミックにより得られた測定例である。印

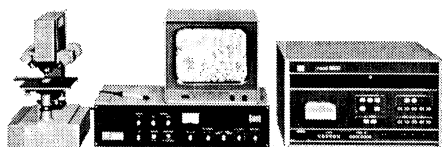


図 15 サクラパミック 8800

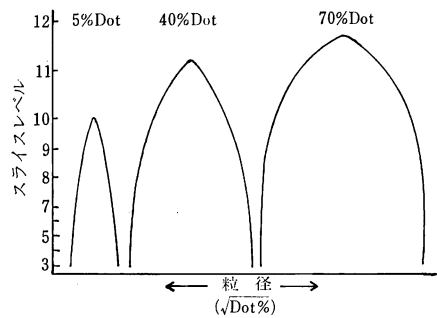


図 16 エリアダックによる測定例—網点面積率の違いと濃度分布

刷条件を変化させたときの網点について三次元的に表わした。図の下部分は、各スライスレベルにおける網点の段面形状であり、その面積(A)、周囲長(P)、形状特性値(S)が示されている。上の部分は各段面形状を合成し、等高線で網点内の濃度ムラを示したものである。図17より、印刷物の網点品質(大きさ、形状、濃度ムラ)は印刷条件によりかなり変動するのがわかる。網点品質は形状(S値が小さい)、ハードさ(等高線がつまっている)、濃度(いかに高いスライスレベルまで測定可能か)、ムラ(素抜けがない)から判断される。

以上のように網点をミクロ的に解析することにより、網点品質を客観的に評価することが可能になった。いままでは官能評価に頼っていた、印刷物のシャープネス、ざらつき感などの重要項目についても、網点品質と結びつけていけば計測評価が可能になると考える。

5. ま と め

最近ではエレクトロニクス技術の印刷分野への進出も目ざましく、フィルム製版におけるスキャナーをはじめ、印刷機のインキコントロール装置およびインキ量プリセット装置(画線部面積率に応じてインキ供給量をコントロール)の普及により、印刷物の品質、安定性が向上してきたといわれている。また、トータルスキャナーも出現し、コンピュータ処理による調子の修整、絵柄の合成、あるいは色の変更まで大胆に、容易に行なえるようになり、印刷表現も多様化してきている。そのような状況下で今後とも印刷画像の計測評価の充実はますます必要になってくると考える。

印刷物の品質は、最終的には心理的な効果も含んだ目視評価により判断されるため、いままで述べてきた計測評価で高い値を得たものが必ずしも良い品質とは限らないというむずかしさがあるが、今後ともより科学的な立場から印刷物を解析し、心理量も含めた総合的な評価体

条件	標準	湿し水多	湿し水少	インキ多	インキ少	スラー*
網点内濃度ムラ						
網点の断面形状	スライス 3 A=380 P=101 S=2.14	A=402 P=124 S=3.04	A=438 P=112 S=2.27	A=430 P=112 S=2.33	A=375 P=102 S=2.20	A=525 P=163 S=4.01
	スライス 6 A=316 P=119 S=3.56	A=338 P=143 S=4.79	A=364 P=119 S=3.10	A=340 P=115 S=3.12	A=310 P=121 S=3.76	A=409 P=155 S=4.68
	スライス 8 A=249 P=157 S=7.88	A } P } 測定不能 S }	A=290 P=139 S=5.27	A=285 P=136 S=5.18	A=219 P=159 S=9.15	A=295 P=220 S=13.02
	スライス 9 A } P } 測定不能 S }	—	A=162 P=152 S=11.39	A=101 P=111 S=9.77	—	—

A: 網点面積 ($\times 25\mu\text{m}^2$), P: 周囲長 ($\times 5\mu\text{m}$), S: 形状特性値,
 $S = P^2/4\pi A$ (Sは完全円の場合 1.0, 小さいほうが良).

図中で黒塗りの部分は素抜け部分.

濃度ムラの図はスライス 3, 6, 8 の断面形状を合成.

* スラー: 印刷機調整不良の場合, スリップなどにより網点に変形する.

図 17 パミックによる測定例—印刷条件変化と網点品質

系づくりに努めていきたい.

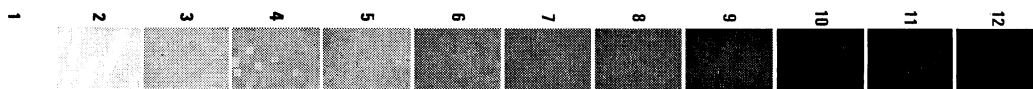
文 献

- 1) 伊藤祐保: カラー印刷物の計数管理 (印刷学会出版部, 1975).
- 2) John A. C. Yule (馬渡 力, 国司竜郎訳): カラーリブ

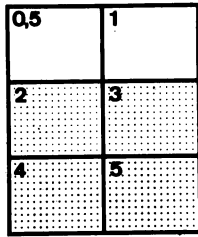
- ロダクションの理論 (印刷学会出版部, 1971).
- 3) 木下堯博ほか編: 基礎写真製版 (印刷出版研究所, 1980).
 - 4) 市川家康: わかりやすい紙・インキ・印刷の科学 (朝陽会, 1975).
 - 5) 田口裕箕: 印刷雑誌, 55 (1972) 12.
 - 6) 北原庸光, 曾根正義: 印刷雑誌, 66 (1983) 2.

<チャート類>

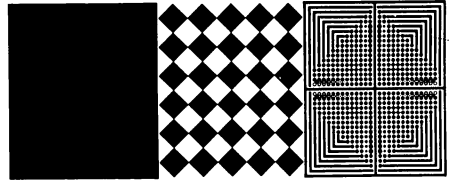
No. 1 一般的な網点チャート, 網点再現性, 階調性用



No. 2 プルナーシステム焼度チェック用チャート



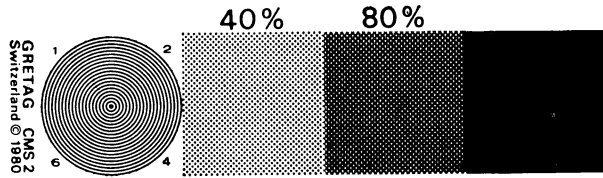
No. 3 プルナーシステムチャート



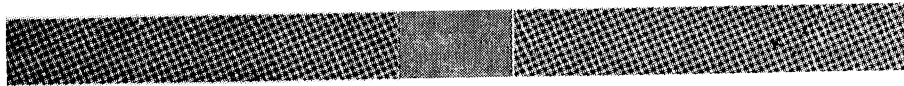
No. 4 FOGRA PMS チャート



No. 5 GRETAG CMS チャート



No. 6 JPA カラーバランスチャート



↑
Bl 単色部
↑
..... C, M, Y 刷り重ね部