

低解像度高線数網点(Co-Re SCREENING)の開発

井上 義章*

Development of Co-Re SCREENING That Enables the Output of High Screen Rulings at Low Output Resolutions

Yoshiaki INOUE*

Abstract

Nowadays most of printed matter consists of halftone dots made by digital process. Until now we have used higher screen rulings to get high image quality at the expense of recording time. In order to solve this trade-off, we developed a technology named "Co-Re SCREENING". This screening technology enables the output of high screen rulings at low output resolutions. We investigated the possibility of excellent quality realization on printed matters. Further, we developed a new method of detecting single color moiré by simulating the recording process and the human vision characteristics.

1. はじめに

近年,印刷物作成工程はデジタル化が進み,高出力のレーザーで画像データを直接刷版に描画するCTP(Computer-To-Plate)システムが普及してきている。CTPシステムを用いることにより,さらなる高画質化と生産性向上が求められている。

高品質な画像を得ようとする場合,解像度の高いプリンターを使用することが一般的に行われる。しかし,画像の解像度を高めることは,一般に出力速度の低下とデータ処理量の増加を伴い,生産性を大きく低下させる。つまり,高品質を得ようとするとき生産性が低下するというトレードオフの関係が存在する。印刷分野の網点出力装置におけるこのトレードオフの解消を目的として,低解像度高線数網点,“Co-Re SCREENING (Common-Resolution SCREENING)”(コアスクリーニング)の開発を行った。この網点は,CelebraNT RIPなどの当社網点化処理ソフトウェアにオプション網点として搭載され,Luxel T-9000CTP HS,Luxel T-6000CTP II,Luxel P-9600CTPの当社プレートセッターから出力可能である。本稿では,Co-Re SCREENING開発の背景および技術内容について説明を行う。



Fig. 1 Co-Re SCREENING 300LPI at 2438.4dpi.

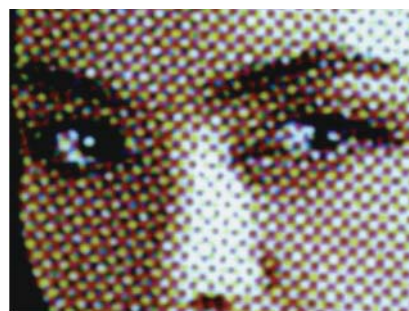


Fig. 2 Normal SCREENING 175LPI at 2438.4dpi.

2. 低解像度高線数網点のねらい

国内の商業印刷では,出力機の解像度2400dpi(dot per inch)付近で網点線数175LPI(Line Per Inch)を出力することが標準的に行われている。印刷物を高品質化するには,画像の精細度をあげること,つまり網点の線数を上げることが容易に考えられる。網点線数として300LPI程度を出力するには,一般に出力解像度4000dpi程度が必要と言われている。プリンターの出力解像度の増加は,画像データ量の増加につながり,2値化処理

本誌投稿論文(受理2002年10月29日)

*富士写真フイルム(株)宮台技術開発センター
〒258-8538 神奈川県足柄上郡開成町宮台798

*Miyanodai Technology Development Center
Fuji Photo Film Co., Ltd.
Miyanodai, Kaisei-machi, Ashigarakami-gun,
Kanagawa 258-8538, Japan

時間、データ転送時間、画像出力時間のすべてに時間を要し、生産性が低下する。画像品質（線数）を高くすると生産性が低下する（高い出力解像度が必要となる）というトレードオフ関係と、従来技術と比較した Co-Re SCREENING の技術レベルを Fig. 3 に示す。

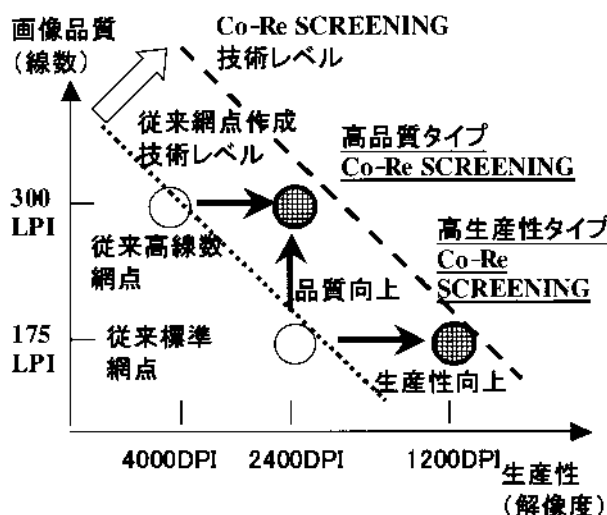


Fig.3 Relationship between screen ruling and output resolution.

このトレードオフを解消するために、Co-Re SCREENING では以下の2つの特長を持った網点の実現を目指した。

- 1) 高品質タイプ
通常出力解像度(生産性は同等)で高線数(高画質)の網点
(例：出力解像度2400dpiで300LPIの網点)
- 2) 高生産性タイプ
低出力解像度(生産性向上)で通常線数(品質同等)の網点
(例：出力解像度1200dpiで175LPIの網点)

高品質タイプの Co-Re SCREENING は、2400dpi の 300LPI を推奨しているが、高精細印刷の網点線数は従来、400 ~ 500LPI 以上が一般的であった。以下、Co-Re SCREENING が 300LPI を推奨する理由を説明する。

高線数を用いることによる画質向上の効果はさまざまなものがあげられるが、主なものは以下の2点と思われる。

- (a1) 解像度、ディテール再現の向上
 - (a2) 網点ノイズ(ロゼット、網点構造)の低減
- 網点画像の構成要素である網点ドットはある程度小さくなると、人間の目の空間周波数分解能以下になり視認されなくなる。そのため、2値画像を連続調画像と同様に感じることで上記効果が生ずると考えられる。したがって、肉眼で画像を観察する用途では、人間の視認限界以上の高線数になれば(a1)解像度の向上効果も(a2)網点ノイズの低減効果も飽和してくる。

一方、高線数化の問題点を考えてみる。フィルム出力工程、アナログ刷版焼付け工程を含む従来印刷物作成工程で高線数化の妨げとなった主な問題点を以下に示す。

- (b1) 生産性の低下
RIP 処理時間、データ転送時間、出力時間の低下
- (b2) 刷版工程の難しさ
ゴミなどの焼きボケ、小ドット再現の難しさ、見当精度、調子の安定性
- (b3) 印刷の難しさ(色、調子の安定性)

(b1)の生産性の低下は、前述の品質と生産性のトレードオフで説明した内容であり、Co-Re SCREENING の使用で解決される項目である。(b2)の刷版工程の難しさは、従来工程では大きな問題であった。しかし、CTPシステムを用いる場合にはこの問題も解決される。中間工程を省略し、直接刷版に描画するCTPシステムでは、見当精度、小点再現性、調子の安定性といった刷版品質は従来工程と比べて格段によくなったと言われている。(b3)の高線数印刷の難しさについては、網点ドットが小さくなることで生じる印刷工程の不安定さであり、CTPシステムを用いる場合にも、従来工程と同様に残る問題である。

以上の高線数化の効果と問題点(印刷の難しさ)の関係を模式的に示したものを Fig. 4 に示す。

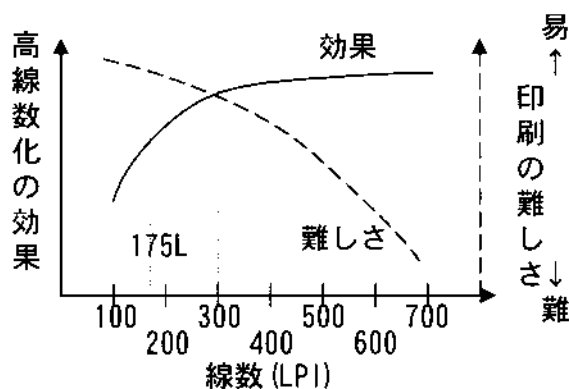


Fig. 4 Relationship between the effect of high screen rulings and the difficulty in printing process.

高線数の効果がある程度得られ、かつ印刷の難しさがなるべく抑えられる線数として Co-Re SCREENING では 300LPI を推奨している。実際に 300LPI の印刷物を見ると、網点ロゼット構造は肉眼では視認できず、高線数化の効果は得られている。印刷工程の安定性が大幅に改善されないかぎり、400、500、600LPI... とより高い線数を目指すことは、高線数化の効果は飽和しているのに対して、印刷工程の不安定さ(困難さ)が増加していくと考えられる。

高生産性タイプの Co-Re SCREENING、1200dpi の出力解像度で 175LPI を実現する網点は、フォトポリマー方式 CTP システムのみでサポートしている。感材感度と露光光源の制限から、多くのサーマル方式の CTP システムでは、2400dpi と 1200dpi の生産性が同一であり、高生産性タイプの Co-Re SCREENING は効果がない。しかし、Fig. 3 に示すように出力解像度 2400dpi の 300LPI 出力も、4000dpi の 300LPI 出力からすれば、高生産性タイプの網

点ということが出来る。このように、Co-Re SCREENINGでは出力機と感材の特性にあわせてその効果を十分発揮できる網点を選択できる。

3. 低解像度高線数網点開発上の課題

Co-Re SCREENINGの実現にあたって、ハードウェア、ソフトウェアに特別な変更を加えることなくその機能を実現することを目指した。したがって、網点の2値化処理には一般的な2値化アルゴリズムを用いた。具体的には、PostScript Level IIでサポートされる網点閾値データ(threshold array data)の形式を用いており、この網点閾値データの作成方法に種々の工夫を盛り込んだ。

網点閾値データの工夫によって、低解像度でより高線数を作成する場合の問題点を考えてみる。Fig. 5にラウンド形状の角度付きの網点ドットを高低2種類の解像度で作成した網点像を示す。

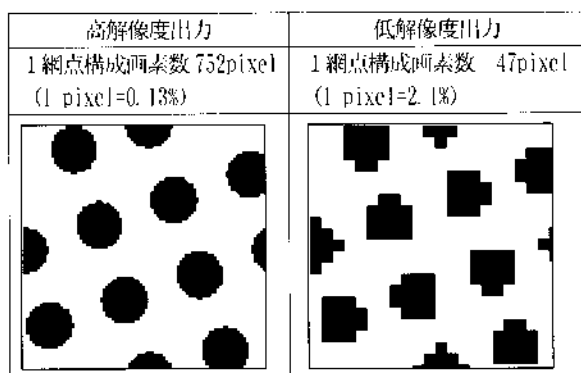


Fig. 5 Halftone dots images outputted in high and low resolutions.

低解像度出力で網点を作成すると、1つの網点ドットを少ない画素(pixel)数で構成することになる。“均一の形、大きさのドットが等間隔に並ぶ”という従来の網点設計方針とは異なり、網点ドットは不揃いとなってしまふ。少ない構成画素数で、網点閾値データを従来技術を使って作成した場合に問題になる主な画像品質項目は以下、の2点である。

- 1) 階調再現性(網点構成画素数の不足)
- 2) 単版モアレ(網点の位置、形状の量子化誤差により生じる単色版上のモアレ縞)

以下、この2項目についてCo-Re SCREENINGで使用している技術を説明する。

3.1 階調再現性の検討

網点を用いた面積変調による階調再現方式では、再現可能な階調数は、1網点の構成画素数を計算する下記(1)式より求めることができると言われている。

$$\text{階調数} = (\text{出力解像度} / \text{網線数}) + 1 \dots \dots (1)$$

この式に従って階調数を考えると、低解像度で従来基準より高い線数を出力する場合、必要な階調数がとれなくなることになる。

この階調数不足の問題に対して、Fig. 6に示すマルチ

テンプレート方式を採用した。マルチテンプレート方式とは、2値化に使用する網点閾値データ(テンプレート)を複数の網点ドットで構成し、網%の異なる網点ドットを混在させ、階調数を増加させる方式である。Fig. 6は、16pixel、17pixelのドットを混合させて16pixelで構成されるN階調目と17pixelで構成されるN+1階調目の間の階調を再現し、階調数を増やしている様子を示している。

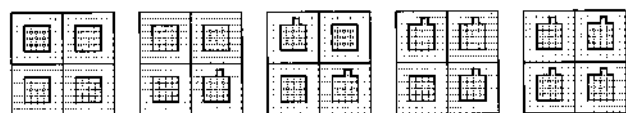


Fig. 6 Concept of the multi-template method.

人間は濃淡を知覚する際、高周波成分については視認性が低下する。したがって、微小領域の変化である網点1つ1つの面積率の違いは、高周波成分にあたり、人間は鈍感である。一方、広い領域の濃淡は、ある程度の範囲の面積率情報を積分して知覚していると考えられる。マルチテンプレート方式はこのことを利用した階調再現方式である。

マルチテンプレート方式によって階調再現性が向上する簡単な例をFig. 7-1, Fig. 7-2に示す。従来方式で2400dpiの出力解像度で300LPIを出力する場合、(1)式に従うと65階調しかとれないことになる。この時、0-100%の網%を再現しようとするると1階調あたり約1.5%の階調となる。この網点を用いて256階調のグラデーション画像を出力したときの階調特性がFig. 7-1である。Fig. 7-1は1.5%の段差(階調跳躍)をもつ階調特性を示している。一方、Fig. 7-2は、同条件でマルチテンプレート方式の網点を使用した場合の階調特性を示す。Fig. 7-2では1.5%の階調跳躍は目立たなくなっていることがわかる。なお、Fig. 7-1, Fig. 7-2はグラデーション画像データを2値化処理し、その画像データをグラデーションと垂直方向に積分し、人間の視覚特性と網点周期で平滑化して得た図である。

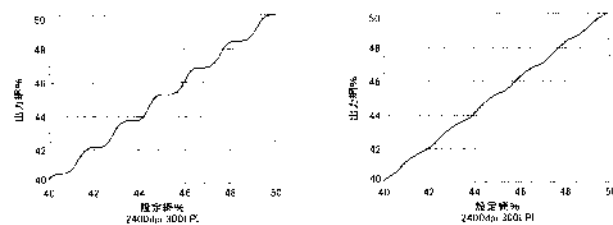


Fig. 7-1 Normal method Fig. 7-2 Multi-template method

Fig. 7 Tone reproduction curve (Effect of multi-template).

3.2 単版モアレ解消技術

単版モアレは、出力解像度の周期成分と網点周期成分との干渉として計算することができる。低解像度で網点を作成した場合、出力解像度ピッチと網点ピッチが近づくことから干渉が生じやすくなることが考えられる。

また、網点ドットに占める1画素の割合が大きくなり、ドット形状、位置に偏りが生じることで、干渉モアレの強度も大きくなり視認されやすくなる。

単版モアレを解消するため、まずデジタル網点データから計算的手法で単版モアレ成分を抽出することを試みた。

Fig. 8に、単版モアレ成分抽出方法の概要を示す。図は、デジタル網点画像データ $I(x, y)$ から人間が知覚する画像 $Oh(x, y)$ を求める手順を示している。

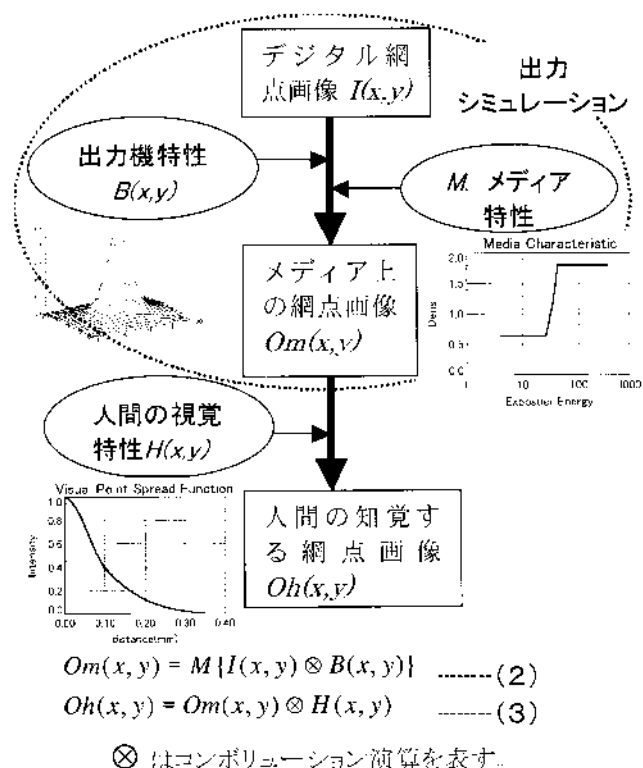


Fig. 8 Flowchart of detecting a single color moiré.

前半は、出力シミュレーションを実施している部分で、デジタル網点画像データ $I(x, y)$ からメディア上の網点画像 $Om(x, y)$ を求めている。デジタル画像データ I と出力機の露光ビームの特性 B (露光ビームプロファイル情報など) とのコンボリューション演算でメディア上の露光量分布を求め、その露光量分布をメディアの特性曲線 M を用いて露光量から濃度 (透過率) に変換することで Om が求まる ((2)式参照)。

単版モアレは、出力機の特性に依存する 경우가多く、デジタルデータ上で検討していたのでは、品質改善が困難な場合が多い。特に、デジタル網点画像 $I(x, y)$ とメディア上の網点画像 $Om(x, y)$ の差が大きいものについて、単版モアレを精度良く予想するには、出力シミュレーションを用いることが必要である。Fig. 8に示した出力シミュレーションは簡単な計算であるが、出力機の特性や傾向をある程度知ることができる。一例として、P-9600CTPでのシミュレーションの例を紹介する。Fig. 8の手順で、デジタル網点画像データに出力機のビーム特性、感材の特性曲線を用い、Fig. 9-1の網点画像を得た。

実際の網点ドットの顕微鏡拡大写真 (Fig. 9-2) と、シミュレーション適用前のデジタル網点画像 $I(x, y)$ 、シミュレーション画像 $Om(x, y)$ とを比較すると、シミュレーション画像の方が、顕微鏡画像にずっと近いことがわかる。また、このシミュレーションでは、版上の網%も予測することが可能である。計算によって求めた網%と測定結果とが良好に一致していることを Fig. 10に示す。

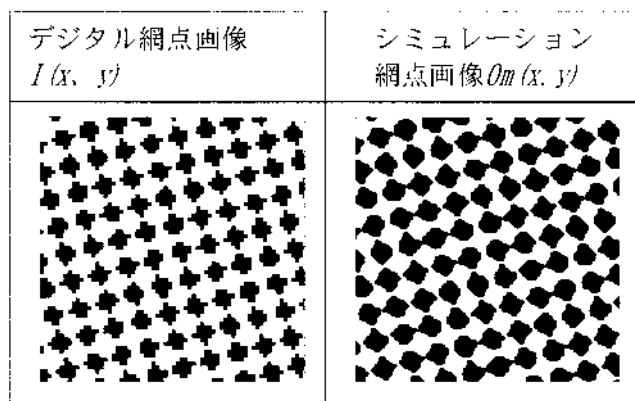


Fig. 9-1 Halftone images formed by the output simulation.

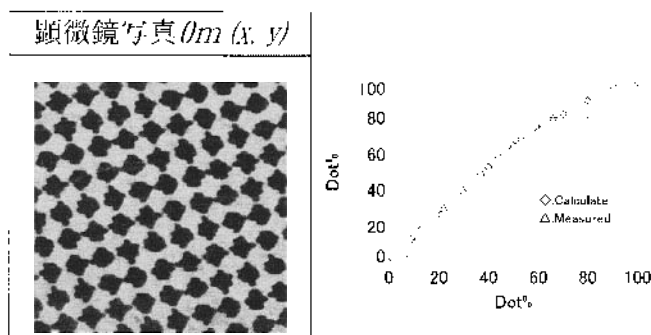


Fig. 9-2 Actual halftone image. Fig. 10 Tone reproduction estimated by the output simulation.

Fig. 8の後半では、メディア上の濃淡分布 Om を、人間の視覚周波数特性に基づいた重みで平均化することで、人間が実際に知覚する網点画像 $Oh(x, y)$ を求める。これは、 Om と視覚の点拡がり関数 (Visual Spread Function) H とのコンボリューション演算によって求めることができる ((3)式参照)。

従来網点作成方式で作成した出力解像度 2400dpi の 175L と 1200dpi の 175LPI について、刷版上のシミュレーション網点画像 Om 、人間が知覚する網点画像 Oh (濃淡は強調している)、 Oh を周波数解析した結果を Fig. 11-1、Fig. 11-2に示す。

Fig. 11-1、Fig. 11-2より通常のアプローチで作成した網点の場合、2400dpi出力には存在しない低周波成分 (単版モアレ) が 1200dpi出力では発生しており、 Oh 画像で確認することができる。Fig. 11-2の Oh 画像の周波数解析結果からも、2c/mm付近にピーク周波数が存在し、低周波モアレを算出できていることを示している。

以上のように、もとのデジタル網点画像 I から予測

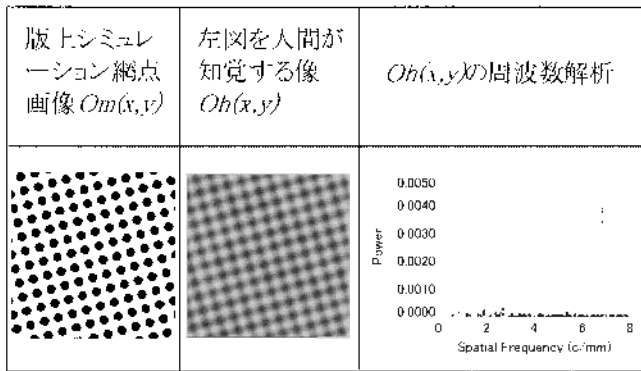


Fig. 11-1 Images of 175LPI normal screening at 2400 dpi.

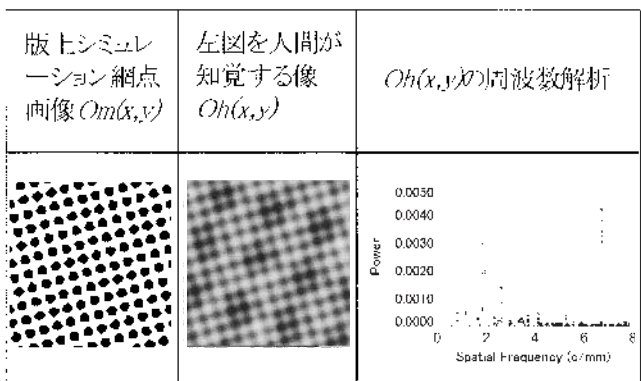


Fig. 11-2 Images of 175LPI normal screening at 1200 dpi.

することが困難な、人間が知覚する単版モアレ成分の濃淡像 Oh を Fig. 8 の方式によって計算可能であることがわかる。

Fig. 8 の方式で、実際に出力される際の単版モアレを計算により検知できれば、その単版モアレ情報をもとに、単版モアレが発生しないような網点配置をもつ網点閾値データを作成することができる。その手順を Fig. 12 に示す。この手順に従えば、各階調において単版モアレが発生しない最適なドット配置を見通しよく順次決定し、網点閾値データを作成することができる。

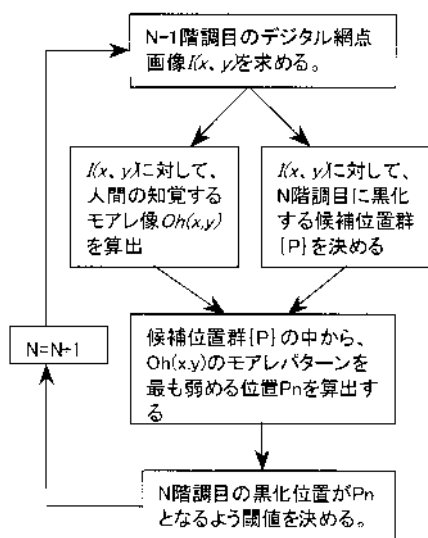


Fig. 12 Flowchart of the algorithm for single color moiré elimination.

Fig.12 の手順で作成した、Fig. 11-2 と同条件 1200dpi 出力の 175LPI の Co-Re SCREENING 網点データを Fig. 13 に示す。Fig. 13 の Om 自体は、Fig. 11-2 と同様の不揃いの網点ドットの集まりであるが、 Oh では低周波成分は目立たないことがわかる。また、周波数解析結果においても、 $2c/mm$ 付近の低周波のモアレ成分が低減していることがわかる。

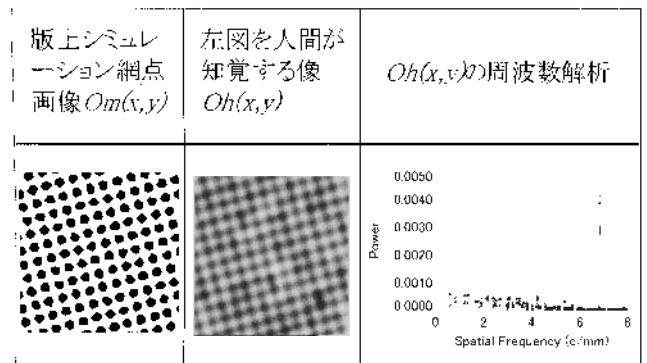


Fig. 13 Images of 175LPI Co-Re SCREENING at 1200 dpi.

4. 印刷物作成による実技サンプル評価

以上に説明した方法で網点閾値データを作成し、各出力機を用いて刷版を作成し、オフセット印刷による印刷物の評価を行った。その結果を Table 1 に示す。

印刷物の評価において、ハイライトのとびやシャドウのつぶれ、トーンジャンプ、単版モアレなどの不具合は発見されなかった。また、従来出力解像度による同じ網点線数の印刷物との比較において、同等の画像品質が得られていることが確認できた。また、それぞれリファレンスに対して、刷版出力の生産性 (RIP 展開時間 + 刷版描画時間) も向上していることが確認できた。

Table 1 Evaluation of the Printed Matters.

| 評価対象 Co-Re SCREENING | 出力機 | 比較した リファレンス 網点 | 実技画像 評価結果 | 生産性 向上効果 |
|----------------------------|-----------------------|----------------------|--------------|-------------|
| 2438.4dpi 300LPI | Luxe1 T9000 CTP | 4000dpi 300LPI | リファレンス同等 | 約2倍 |
| 1219.2dpi 175LPI | Luxe1 P9600 CTP | 2438.4dpi 175LPI | リファレンス同等 | 約1.4倍 |

5. まとめ

- 従来約半分の出力解像度で、従来同等の印刷物品質 (網点線数) を実現する下記2種類の Co-Re SCREENING を開発した。
 - 出力解像度 1200dpi 付近の 175LPI (高生産性タイプ)
 - 出力解像度 2400dpi 付近の 300LPI (高品質タイプ)
- この網点開発に必要な技術として、以下の技術確立した。

- ・「マルチテンプレート方式による階調再現性の向上」
- ・「出力シミュレーションと人間の視覚特性を考慮した単版モアレ成分の抽出方法」

これらの網点データは、当社各種CTPシステムの商品に搭載されている。高級腕時計や高級雑貨カタログ等に使用されるなど、使用ユーザーからきわめて高い評価を得ている。CTP時代の新しい品質基準として、Co-Re SCREENING がさらに広く使用されることを期待したい。

また、今回用いた「シミュレーションで出力画像を予測し、人間の視覚特性を考慮して出力ドット配置の最適化を行う」という手法は、印刷、製版分野に限らず、さまざまなプリンター、階調記録方式に適用可能であると

考えられる。今後、この手法を各種記録方式の性能向上に適用していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 井上. 新しいデジタルスクリーニング技術の画像品質. 印刷学会誌. 38 (6), 30-34 (2001).
- 2) 井上ほか. Co-Re SCREENING 技術の開発. 平成 13 年度日本印刷学会 第 107 回秋期研究発表会講演予稿集. 110-113.

(本報告中にある“Co-Re SCREENING”、“CelebraNT”、“Luxel”は富士写真フイルム(株)の商標です。)