

新規な面感評価法の各種塗工紙への適用について

Application of a New Evaluation Method of Sheet Appearance to Various Coated Papers

松田信弘
Nobuhiro Matsuda

富士田嘉介
Kasuke Fujita

松井 尚
Hisashi Matsui

座間義明
Yoshiaki Zama

We developed a new method for evaluating the sheet appearance using a scanning white-light interferometer. We found the standard deviation of the slope angle area ratio (SD_s), with the optimal threshold of $|3^\circ|$, was strongly related to sheet appearance. The narrower the distribution of the slope angle area ratio (SAAR) becomes, the better the sheet appearance. Moreover, we measured the ultra fine surface profiles of various coated papers, and studied the influence of SD_s on sheet appearance.

As a result, we found the optimal threshold for binary transformation of the average of surface slope angles (ASSA) changes depending upon the kind of coated papers, and that the optimal threshold is $|7^\circ|$ for A2 coated paper and $|10^\circ|$ for A3 coated paper. We also found correlation with sheet appearance is best when it is not concerned with the kind of coated papers but SAAR after binary thresholding becomes 70%. This method can accurately evaluate sheet appearance.

1 緒言

塗工紙の重要な品質の一つに白紙の「面感」があり、近年ますます重要視されるようになってきている。この「面感」とは文字通り塗工紙表面を見たときの「感じ」であるが、その良否は微視的に均一性を感じるか否かである。微視的に不均一さを感じる塗工紙には微小な光沢ムラが存在しており、塗工紙の場合、この微小な光沢ムラが「面感」の良否を決定すると言われている。塗工紙の面感、すなわち微小光沢ムラは、多くの場合目視で判定されている。しかし、目視判定では個人の主観が入りやすく、且つ定量性に欠けるため、機器を使用して客観的定量的に評価しようという検討がなされている。藤原¹⁾は、走査型微小光沢度計を用いて微小光沢の変動を求め、その大小から微小光沢ムラを評価する方法を報告している。また、MacGregor²⁾は画像解析装置を用いて各波長範囲毎に抽出した

光沢画像と目視の微小光沢ムラとの相関を調べ、0.4~0.8mmの波長における光沢の変動と相関性が高いことを報告している。

我々はこの微小光沢ムラが塗工紙表面の微小な凹凸の不均一性によって生じると考え、白色光を光源とする光干渉方式の非接触式三次元表面粗さ計を用いて塗工紙表面の微細形状を精度良く測定・解析し、塗工紙の白紙面感に影響を与える因子について検討した。その結果、新たな面感評価法³⁾の開発に至り、かつ種々の市販塗工紙への適用性とその有用性が確認されたのでここに報告する。

2 実験

2.1 試料

実験には、グレード・用途・坪量の異なる様々な市販塗工紙を用いた。サンプルの内容を表1に示す。尚、白紙

Table 1 Properties of test samples.

Grade	Use	Basis Weight, g/m ²	Number of Sample
A2	Web-Offset	104.7	11
		127.9	11
	Sheet-Offset	104.7	11
		127.9	10
A3	Web-Offset	64.0	13
		69.9	12

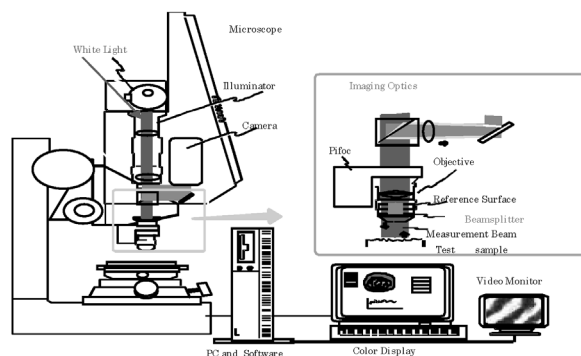


Fig. 1 Schematic diagram of ZYGO New View System.

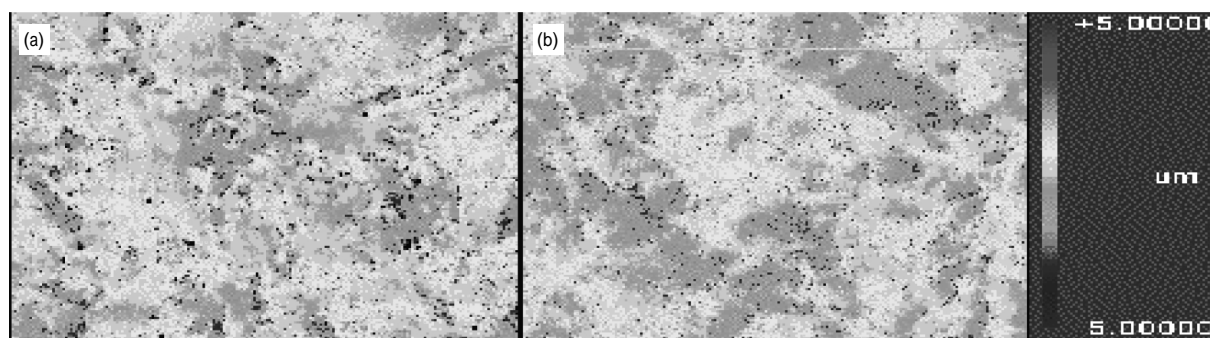


Fig. 2 Distribution of surface roughness; (a) poor sheet appearance sample (b) good sheet appearance sample.

面感の優劣の評価は、塗工紙品質評価に関わる専門家による目視判定(1:劣、5:優)にて行い、その平均値を目視面感評価値とした。

2.2 装置

塗工紙表面の微細形状の測定には白色光干渉方式の非接触式三次元表面粗さ計 ZYGO社製 New View 200、以下ZYGO平滑度計と略すを用いた。装置の概略を図1に示す⁴⁾。尚、測定に当たり、試料にうねりを極力生じさせないよう、試料と試料台の間に静電吸着板(キューロン、太平化学製品(株)製/DCコンバータ 3KV)を設置して測定を実施した^{3,5)}。

3 結果と考察

3.1 塗工紙表面の凹凸分布

図2に約1.5mm×2mmの測定面積についてZYGO平滑度計により得られた凹凸の分布を示す。図2(a)は目視面感評価値が1点(劣)、図2(b)は目視面感評価値が5点(優)の試料についての測定結果であるが、この2つを比較したとき、凹凸の分布からでは面感の優劣を判断するのは難しいことがわかる。つまり、これは凹凸の高さ情報からでは面感を議論できないことを示す結果である。

3.2 塗工紙表面の傾斜角分布

次に我々は面感には微小光沢ムラが起因することから、

塗工紙表面での光の反射について以下のようなことを想定し検討を行った。図3にミクロ的な観点から見た塗工紙表面での光の反射に関する模式図を示す。図3において、塗工紙表面における凹凸の高さの違いでは、一定角度の入射光に対して反射光の向きは変化しないと考えられる。一方、凹凸の角度(傾斜角)の違いにおいては、その傾斜角の違いにより反射光の向きは変化することが予想される。そのため、様々な向きに反射光が人間の目には微小光沢ムラとして認識されるものと考えられる。つまり微小光沢ムラには塗工紙表面の傾斜角分布が影響を及ぼすと考えられることから、前項と同じサンプルについて塗工紙表面の傾斜角を測定した。その結果を図4に示す。図4において、2つのサンプルを比較した場合、目視面感評価値が劣る図4(a)は傾斜角の分布が不均一であり角度の急な部分が局在化している。一方、目視面感評価値が優れる図4(b)では傾斜角の分布がより均一であることがわかる。この結果から、塗工紙表面の傾斜角分布は凹凸分布(高さ分布)の場合と異なり、面感をより明確に反映しているものと考えられる。本結果より、塗工紙表面の傾斜角分布を測定することにより面感を評価できる可能性が見いだされたので、以下我々は面感評価の定量化を試みた。尚、面感評価の定量化にあたり、我々が以前に報告した白紙光沢の検討⁴⁾の際に用いた各種パラメーターを使用したの

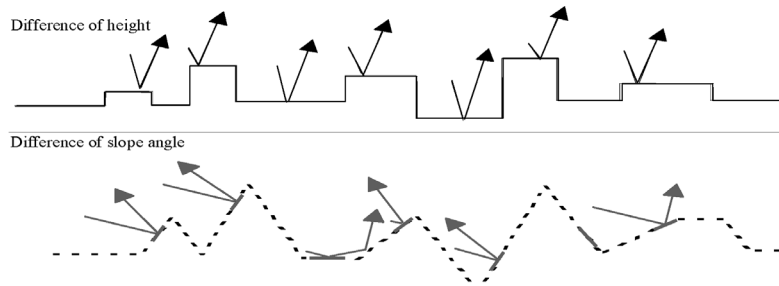


Fig. 3 Schematic model of reflection of beam on the surface of coated paper.

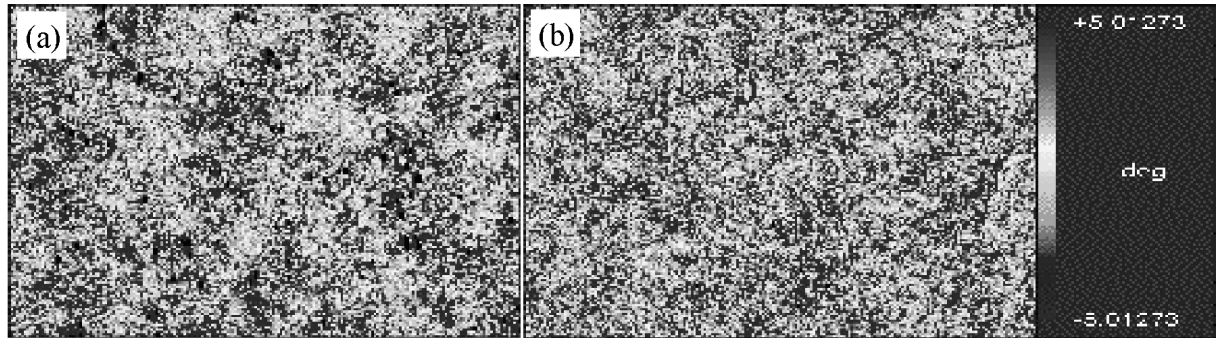


Fig. 4 Distribution of surface slope angle; (a)poor sheet appearance sample (b)good sheet appearance sample.

で下記にその定義を簡単に示す。

図5に塗工紙の光沢に関するモデル図を示す。図5は塗工紙の光沢がその表面粗さや表面傾斜角 $\alpha(x)$ により変化することを示しており、表面傾斜角 $\alpha(x)$ の絶対値がある値以下になると正反射した光が受光部に受光されることがわかる。ここで表面傾斜角 $\alpha(x)$ は(1)式で表される。

$$\alpha(x) = \tan^{-1} \left| \frac{dy}{dx} \right| \quad (1)$$

また、表面粗さを表すパラメーターの一つである平均傾斜角(Average of Surface Slope Angle : ASSA、付録A参照)は表面傾斜角 $\alpha(x)$ の算術平均であり、次のように定義される。

$$ASSA = \frac{1}{L_0} \int_{x=0}^{x=L_0} \alpha(x) dx \quad (2)$$

さらに我々は傾斜角面積率(Slope Angle Area Ratio : SAAR、%)なるパラメーターを以下のように定義した。

$$\text{Slope Angle Area Ratio(SAAR, \%)} = 100 \times (\text{Slope Angle Area}) / (\text{Total measurement area}) \quad (3)$$

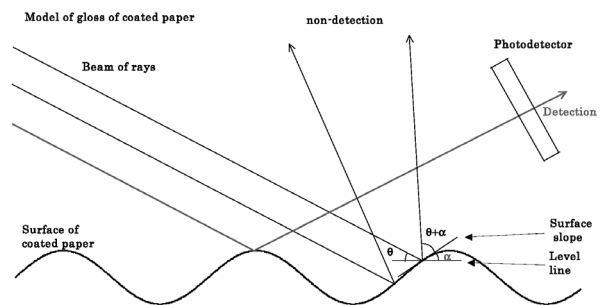


Fig. 5 Schematic model of gloss of coated paper.

ここで、傾斜角面積(Slope Angle Area : SAA)は表面傾斜角 $\alpha(x)$ が $-\beta \leq \alpha(x) \leq +\beta$ の範囲にある表面の面積であり、 β は正反射光が受光部に受光され得る限界の表面傾斜角(限界表面傾斜角:binary thresholding)と定義することにする。例えば、図4(b)と図2(b)のデータを微分したものに相当する図7で本定義を補足すると、仮に表面傾斜角 $\alpha(x)$ が $\pm 3^\circ$ 以内であれば正反射光の全てが受光部に受光されるとした場合、図4(b)において比較的淡色で表されている部分の表面の面積が傾斜角面積(SAA)であり、傾斜角面積率(SAAR、%)はその傾斜角面積(SAA)の全測定面積中に占める比率、この時の限界表面傾斜角 β は $-3 \leq \beta \leq +3$ であると定義されることとなる。以下我々はこれらのパラメーターをもとに面感評価の定量化を行った。

3.3 新規な面感評価法について

まず、人間の目がどの程度の大きさの微小光沢ムラを認識しているかを明確にするために、図6に示すような条件にてA2オフ輪用塗工紙(坪量:104.7g/m²)の表面の傾斜角分布を測定し、測定条件の最適化を行った。この際、面感評価の定量化の方法として、先のパラメーターを利用した平均傾斜角法と面積率法の二方法を用いた。平均傾斜角法とは各区画毎に平均傾斜角(ASSA)を算出し、その平均傾斜角の標準偏差を求める方法(Standard Deviation of ASSA : SD_A)である。一方、面積率法とは平均傾斜角法(SD_A)の応用であり、各測定点での限界表面傾斜角βを±3°とし、±3°以内とそれ以外とに二値化した後、全測定面積に対する傾斜角が±3°以内に入る測定点の傾斜角面積率(SAAR、%)を区画毎に算出し、その標準偏差を求める方法(Standard Deviation of SAAR : SD_S)である。尚、この面積率法(SD_S)はA2グレードのような白紙光沢の高い塗工紙において、更に白紙光沢の影響を考慮することにより面感評価の精度向上を意図した方

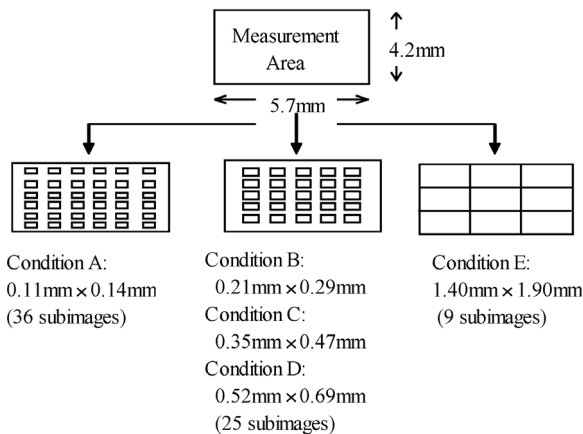


Fig. 6 Conditions to measure the distribution of surface slope angle.

法である。

図7に各測定条件下における平均傾斜角法(SD_A)と面積率法(SD_S)の目視面感評価値との相関性について示す。図7より測定条件については条件Bが、定量化の方法については平均傾斜角法(SD_A)と面積率法(SD_S)の方が高い相関にあり、塗工紙の白紙面感を精度良く定量化するには条件Bにて面積率法(SD_S)を用いる方法が最も有用であることがわかった。参考のために、図8に条件Bにおける面積率法と目視面感評価値との相関性を示す。

3.4 新規な面感評価法の各種塗工紙への適用

前項において、新規な面感評価法(条件Bにおける面積率法)がA2オフ輪用塗工紙(坪量:104.7g/m²)に対して有用であったことを示した。ここでは、さらに本面感評価法の適用範囲を広げ、表1に示した試料に対して条件Bにおける面積率法(SD_S)を求め、目視面感評価値との相関性について検討した。結果を表2に示す。表2より、A2塗工紙では坪量や用途に関わらず、面積率法(SD_S)と目視面感評価値との間には高い相関性が得られた。一方、A3塗工紙ではA2塗工紙の場合ほど良好な相関性は認められなかった。このようにA3塗工紙において相関性が低くなってしまった理由としては以下のようなことが挙げられる。

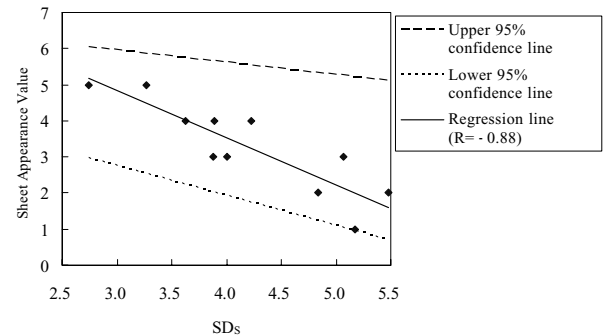


Fig. 8 Correlation between SD_S and sheet appearance.

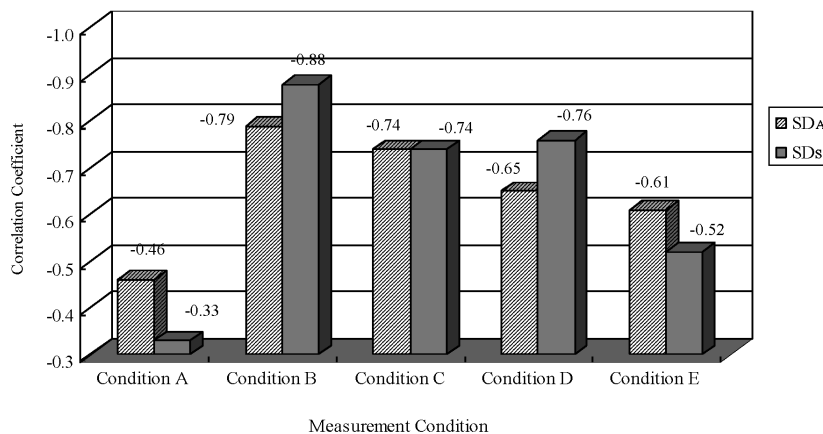


Fig. 7 Correlation between SD_A or SD_S and sheet appearance at each conditions.

Table 2 Correlation coefficient between sheet appearance and SD of SAAR within ± 3 °

Test Samples	n	Gloss(%)	Correlation Coefficient for SD of SAAR(± 3 °)	t	$t_{(n-2, 0.05)}$
A2 Web-Offset (104.7g / m ²)	11	61.3 - 76.8	-0.88	5.558	> 2.262
A2 Web-Offset (127.9g / m ²)	11	65.4 - 77.7	-0.78	3.739	> 2.262
A2 Sheet-Offset (104.7g / m ²)	11	65.5 - 77.0	-0.81	4.144	> 2.262
A2 Sheet-Offset (127.9g / m ²)	10	n.d. - n.d.	-0.88	5.240	> 2.306
A3 Web-Offset (64.0g / m ²)	13	45.0 - 54.4	-0.51	1.966	< 2.201
A3 Web-Offset (69.9g / m ²)	12	41.2 - 56.6	-0.70	3.100	> 2.228

n.d. : no data

もともと、面積率法(SD_s)はA2塗工紙のような白紙光沢の高いグレードに対して開発したものであり、この方法では面積率を算出する際に二値化する傾斜角のしきい値(限界表面傾斜角 β)を白紙光沢の影響を重要視するために ± 3 °に設定している。しかしながら、通常A3塗工紙はA2塗工紙に比べて白紙光沢の設定値が低いことから白紙光沢の影響を重要視する ± 3 °というしきい値が最適ではない可能性が考えられる。そこで、次に我々は各塗工紙に対して二値化する傾斜角のしきい値(限界表面傾斜角 β)の最適化を図るべく、傾斜角のしきい値(限界表面傾斜角 β)を变量し、その際の面積率法(SD_s)の結果が白紙面感との相関性に与える影響(傾斜角依存性)について検討した。

3.5 白紙面感に影響を及ぼす傾斜角依存性

先に述べたように、白紙光沢に影響を及ぼす傾斜角依存性について検討するべく、二値化する傾斜角のしきい値(限界表面傾斜角 β)を ± 2 °から ± 20 °までを变量し、各しきい値での面積率法(SD_s)の結果と目視面感評価値との相関性について考察した。結果を図9に示す。図9において、A2塗工紙の場合、坪量や用途に関わらず ± 2 °から ± 7 °までのしきい値ではほぼ一定の高い相関性を示し、 ± 7 °のしきい値を境にしてそれ以降では相関性が低下する傾向が認められた。一方、A3塗工紙の坪量が69.9g/m²の場合には ± 2 °から ± 10 °までのしきい値で相関性が一定、坪量が64.0g/m²の場合では ± 2 °から ± 10 °までしきい値が大きくなるにしたがって相関性の向上が見られた。また、両坪量のA3塗工紙において ± 10 °のしきい値を境にして、それ以降ではA2塗工紙と同様にその相関性は低下する傾向が認められた。以上の結果は、塗工紙のグレードごとに二値化するための最適な傾斜角のしきい値(限界表面傾斜角 β)が存在していることを示すものであり、その最適な傾斜角のしきい値(限界表面傾斜角 β)とはA2塗工紙で ± 7 °、A3塗工紙では ± 10 °であることが明らかとなった。このように、塗工紙のグレードごとに二値化するための最適な

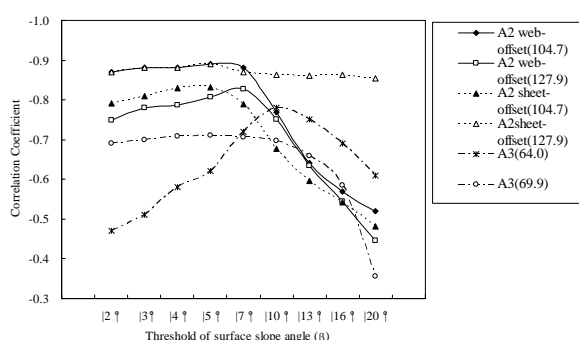


Fig. 9 Slope angle dependance of effect for sheet appearance.

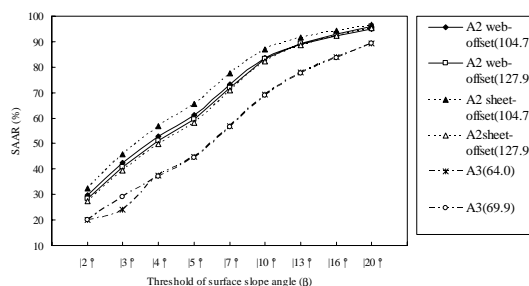


Fig. 10 Relation between threshold and SAAR.

傾斜角のしきい値(限界表面傾斜角 β)を決定することにより、白紙面感評価法の精度向上が期待される。

一方、上記のように二値化するための傾斜角のしきい値(限界表面傾斜角 β)を広くすることは、当然傾斜角面積率(SAAR)も増加することとなる。その結果を示したものが図10である。図10において注目すべき点は、A2塗工紙において最適な傾斜角のしきい値である ± 7 °の面積率とA3塗工紙において最適な傾斜角のしきい値である ± 10 °の面積率がいずれもほぼ70%に集約している点である。つまり、塗工紙のグレードごとに最適な傾斜角のしきい値は異なっているものの、そのしきい値を決定しているものは、ほぼ70%という面積率なのではないかと考察される。この結果をグラフにしたものが図11である。図11には、A2塗

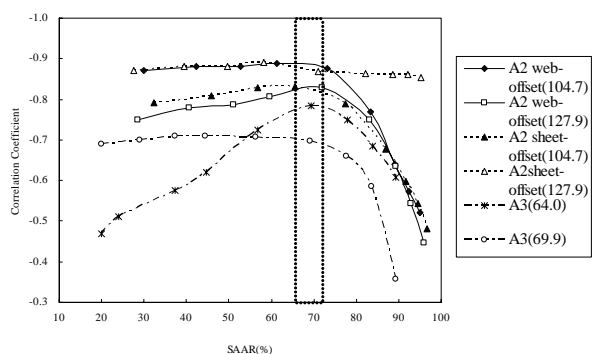


Fig. 11 Effect of correlation by SAAR.

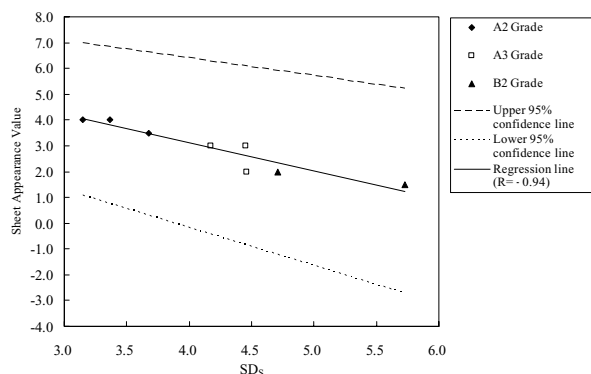


Fig. 12 Correlation between SD_s and sheet appearance to various papers.

Table 3 Comparison between correlation coefficients calculated by SD of SAAR within $|3|^\circ$ and SD of SAAR at 70%.

Test Samples	n	Gloss(%)	Correlation for SD of SAAR($ 3 ^\circ$)	Coefficient for SD of SAAR(70%)	t	$t_{(n-2, 0.05)}$
A2 Web-Offset (104.7g / m ²)	11	61.3 - 76.8	-0.88	-0.88	5.558	> 2.262
A2 Web-Offset (127.9g / m ²)	11	65.4 - 77.7	-0.78	-0.83	4.464	> 2.262
A2 Sheet-Offset (104.7g / m ²)	11	65.5 - 77.0	-0.81	-0.80	4.000	> 2.262
A2 Sheet-Offset (127.9g / m ²)	10	n.d. - n.d.	-0.88	-0.87	4.991	> 2.306
A3 Web-Offset (64.0g / m ²)	13	45.0 - 54.4	-0.51	-0.78	4.134	> 2.201
A3 Web-Offset (69.9g / m ²)	12	41.2 - 56.6	-0.70	-0.70	3.100	> 2.228

n.d. : no data

工紙・A3塗工紙の大半において面積率70%付近を超えるあたりから、その相関性が低下する傾向にあることが示されている。これは我々が白紙面感の良否を判定する際に、面積率70%という値が何かしらの作用をしていることを示唆する結果と考えられる。この面積率70%という値の持つ意味をここで考えてみると、この部分は塗工紙の表面傾斜角が小さい方からの累積面積率であることから、塗工紙表面上では相対的に明るい部分に相当する。一方、我々が白紙面感の良否を判定する際、我々の目は自動的に明部と暗部のある領域で二値化して判断している。つまり、人間の目による二値化の際、面積率70%という領域を我々は明部としてとらえているのではないかと考えられる。現段階では人間の目が明部と暗部を識別する際、その比率がどのようなときに最も明瞭に区別しうるかは不明である。しかし、本知見から推測するに、明部と暗部との比率が70対30となるときが人間の目の二値化機能に最も適合しているのではないかとと思われる。

最後に、各塗工紙において面積率が70%になるような傾斜角のしきい値を求め、そのしきい値における面積率法 (SD_s) と目視面感評価値との相関係数を算出した結果を表3に示す。加えて、図12にユーザーから提供された3グ

レードの塗工紙(6種類)を用いてその白紙面感を同時に比較した際の目視面感評価値と面積率法 (SD_s) との相関性を示す。表3では、二値化する際に面積率が70%になるように傾斜角のしきい値を最適化することにより、いずれのグレードにおいても高い相関性が得られており、図12においても相関係数が $R = -0.94$ と非常に高く、これらの結果は本面感評価法が多種の塗工紙に対して高い適用性があり、且つ非常に有用であることを示すものである。

4 結論

新規な面感評価法を用いて、各種市販塗工紙の白紙面感に関する検討を行った。その中で、新たに次のような点を明らかにすることができた。

- 1) 二値化する際の最適な傾斜角のしきい値は塗工紙の種類により異なり、A2塗工紙では $\pm 7^\circ$ 、A3塗工紙では $\pm 10^\circ$ である。
- 2) 塗工紙の種類に関わらず二値化する際の面積率が70%となる場合において相関性が最も良好である。
- 3) 本手法を用いることにより多種の塗工紙に対し白紙面感を高精度に評価することが可能である。

引用文献

- 1) H. Fujiwara, C. Kaga and I. Kano, *Proceedings of the TAPPI Coating Conference*, TAPPI press, 209 (1990).
- 2) M. A. MacGregor and P. Johansson, *Proceedings of the TAPPI Coating Conference*, TAPPI press, 495 (1991).
- 3) 富士田嘉介、松田信弘、松井尚、座間義明、第68回紙パルプ研究発表会要旨集、128 (2001)
- 4) N. Matsuda, T. Ichihashi and Y. Zama, *Proceedings*

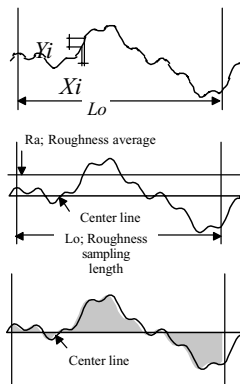
of the TAPPI Coating Conference, TAPPI press, 285 (2000).

- 5) 岡内主器、長田高穂、吉田芳夫、第66回紙パルプ研究発表会要旨集、124 (1999)

発表先

富士田嘉介、松田信弘、松井尚、座間義明、紙パ技協誌、56、1302 (2002)
 2003 TAPPI Coating Conference, TAPPI, May 2003 .

Appendix A Definition of the parameter of surface roughness.



$$ASSA = \frac{1}{L_0} \int_{x=0}^{x=L_0} \alpha(x) dx$$

$$\alpha(x) = \tan^{-1} |dy/dx|$$

$$Ra = \frac{1}{L_0} \int_{x=0}^{x=L_0} |y(x)| dx$$