

視感印刷光沢に及ぼす拡散反射光の影響

Influence of Diffused Light on Visual Perception of Print Gloss in Coated Paper

渡邊 武
Takeshi Watanabe

松田信弘
Nobuhiro Matsuda

松井 尚
Hisashi Matsui

Recently, coated paper is required characteristics of visual perception components like print gloss, sheet gloss and brightness and so on. It is a trend in the differentiation of the coated paper quality to give the product these components. "Print Gloss" is especially an important final quality of coated paper. However, for the print gloss, as for "the specular gloss" measured with standard gloss meter and "the visual perception of print gloss" that man feels in sense, all might be not the same, and be different.

In this study, we considered that the visual perception of print gloss was influenced by permeation, absorption and diffusion of light in the ink layer (resins and ink pigments) and the coating layer (pigments and binders) in addition to ruggedness on printed surface, and investigated clarification of the key factor and the quantification of the visual perception of print gloss with using goniophotometer and scanning white-light interferometer. As a result, it was found that the roughness on the printed surface of $10\mu\text{m}$ or less influenced to the visual perception of print gloss, furthermore the internal diffuse reflection light in the ink layer and the coating layer greatly influenced. And then the quantification of the visual perception of print gloss was also able to be established, it reported with this paper.

1 はじめに

塗工紙の品質のうち印刷光沢や白紙光沢、白色度などといった人間の視感的要素が近年重要視される傾向にあり、品質の差別化におけるトレンドとなっている。中でも「印刷光沢」は最終的な品質の良否を左右する程の重要な特性であり、この印刷光沢の視感的要素にはキラツキ感・ソフト感・シャープさ・色艶感・透明感・白ボケ感といった様々な表現が用いられている。JIS規格 (Z8741) では「光沢(鏡面光沢)とは鏡面反射光の強さによって定められる視知覚の属性」と定義されており、規定の方法にて測定した数値を「光沢度(鏡面光沢度)」と定めている。実際、屈折率 1.567 の黒色鏡面ガラス板の鏡面反射率は入射角 20° の時 4.9%、 60° の時 10%、 75° の時 26.5% となるが、それぞれの反射率を JIS 規格では鏡面光沢度 100% と定義して

いる。この鏡面反射率は、入射光の波長 (λ) と入射角 (θ) の関数 ($R(\theta, \lambda)$) でありフレネル係数と呼ばれ、更には物質の表面粗さと共に反射率の関数であることから、一般的に物体表面の光沢の良し悪しの基準として用いられている。

一方、人間の視覚では図 1 に示した物体表面における反射光全体(法線を軸とした正反射光と、その周りに存在する拡散反射光の全体)を認識し、それを視感的に受け取る「光沢」としている。その為、JIS 規格にそった正反射光沢度計で測定される印刷光沢は、人間の視感的に受け取る印刷光沢(以下、視感印刷光沢と称す)の良し悪しと全てが必ずしも一致していないのが現状である。

これに関して、試料の持つ光沢の程度(艶けし~艶あり)によって入射光角度を規定し、その規定した角度における鏡面光沢度と視感光沢を関係づける報告¹⁾がなされて

いるものの十分な相関が得られるまでには至っていない。
また、正反射光強度(輝度)と拡散反射光強度(輝度)の比で表わされる「対比光沢」を提唱している報告²もあるが、これも十分な視感光沢との相関性が得られるまでには至っていない。

そこで、人間の視感的に受け取る印刷光沢(以下、視感印刷光沢と称す)を後述する鮮映感と光沢感に分類し、それぞれの視感的要素に影響を与える因子について検討を行った。ここで言う鮮映感とは感覚的表現では「ギラツキ感・シャープさ」であり、印刷物の表面性が影響を与えているものと考えられ、非接触式三次元表面粗さ計³を用いて検討を行った。一方、光沢感(感覚的表現で「明るさ・色艶感・白ボケ感」)については、インキ層(樹脂・顔料)や塗工層(顔料・バインダー)における光の反射・透過・拡散が影響を与えていると考え、三次元変角光沢計を用いて詳細な検討を行った。その結果、視感印刷光沢の鮮映感には印刷表面の粗さが影響していること、また、光沢感にはインキ層や塗工層での内部拡散反射光が大きく影響していることが明らかとなったので、ここに報告する。

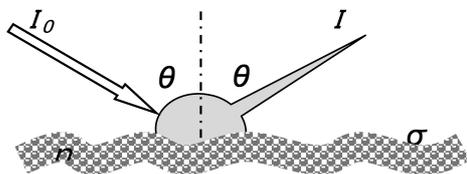
2 実験

2.1 試料

坪量104.7g/m²の市販A2平判塗工紙、および市販アート紙(計20種)をHEIDELBERG SPEEDMASTER 4色オフセット印刷機(印刷速度:8,000枚/h)で印刷し、その印刷物の4色(BkCMY)ベタ刷り部分(重色BkCMY)をサンプルとして用いた。尚、印刷インキにはTOKA SUPER TEKPLUS M-SOYA-QDSTを使用した。

2.2 視感印刷光沢の評価

視感印刷光沢の評価方法を図2に示す。視感印刷光沢を考えるに当たり、これを「鮮映感」「光沢感」の二項目に分類し検討を行った。ここで、「鮮映感」はサンプルに映っている蛍光灯の像影部分の幅やギラツキ感・シャープさといった視感的な要素を、「光沢感」は蛍光灯の像影部分とその周囲を観察し、その明るさや色艶感・白ボケ感といった視感的要素を総合比較して判定した。参考のために「鮮映感」「光沢感」が大きく異なるサンプルの例を図3に示す。尚、各項目の点数付けについては、塗工紙品質にかかわる専門家が「順位配列法」⁴を用いて判定(1:劣,



I_0 : Incident light intensity
 I : Reflected light intensity
 θ : Incident angle
 n : Refractive index
 σ : Surface roughness parameter

Fig. 1 Model of the specular gloss.

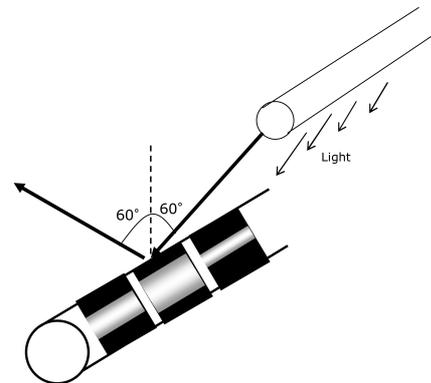


Fig. 2 Evaluation method of the visual perception of print gloss.

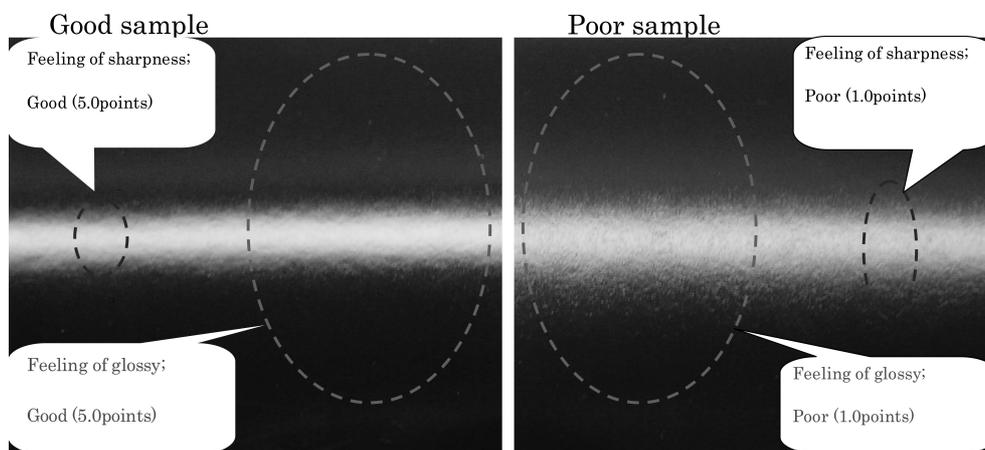


Fig. 3 Example for different visual perception of print gloss.

5:優)を行い、その平均値を視感印刷光沢値とした。

2.3 三次元変角光沢計による測定

光の反射・透過・拡散に関する測定には三次元変角光沢計(村上色彩技術研究所製GP-200)を用いた。図4に装置の光学系略図を示す。本機器ではハロゲンランプから発した光がコンデンサーレンズを通りピンホールに集光され、コリメーターレンズにより平行光に変換、試料に光が入射される。その後、試料にて反射・透過・拡散された光がテレスコープレンズにより集約され受光器で受光される。特徴的には、入射角を任意の角度に固定し、受光角を $-90^{\circ} \sim +90^{\circ}$ の範囲で可変することにより拡散反射光の測定が可能である。また、入射光側と受光側に光の振動方向を変えられるグラントムソン偏光プリズムを装着でき、試料の表面反射光や内部拡散反射光などの各種反射光成分を分けて取り出し解析することも可能となっている。

2.4 その他、印刷光沢と関係深い諸物性の測定

正反射光沢度測定にはGM-26D(村上色彩技術研究所製)を用い、JISで規定された白紙光沢と印刷光沢を測定した。光源の入射角・反射角は 60° で測定した。

印刷表面の粗さ測定にはNew View20(ZYGO社製)を用い、中心線平均粗さ(Ra)の測定や周波数解析を行った。

その他、印刷光沢に影響を及ぼすとされているインキの吸収速度に関してRI印刷機を用い、塗工紙のインキセツ性を評価した。尚、インキセツ性の数値化に際しては画像解析装置を用い、画像の平均輝度をインキセツ性の尺度とし、平均輝度の数値が大きいものをインキセツ性が遅いと評価した。

3 結果および考察

3.1 視感印刷光沢と諸物性および印刷表面粗さとの関係

まず、視感印刷光沢に影響を与える因子の検討を始めに当たり、視感印刷光沢と正反射光沢度計により測定した印刷光沢との比較を行った。20サンプルのうち、代表的なサンプルを3点抜粋した結果を表1に示す。また、視感印刷光沢との相関性について、結果を図5に示す。図5より、視感印刷光沢のうち鮮映感については正反射光沢度計により測定した印刷光沢との相関係数が $r=0.90$ と高くなっており、鮮映感は印刷物の鏡面反射の影響を受けていることがわかる。また、白紙光沢やインキセツ性・印刷表面粗さRa、周波数解析結果による 500mm^{-1} におけるRa等の測定結果を表1に、並びに、表1に示した諸物性と視感印刷光沢との相関係数を表2に示した。鮮映感は印刷表面粗さRa(500mm^{-1})と $r=-0.88$ の相関にあり、鮮映感

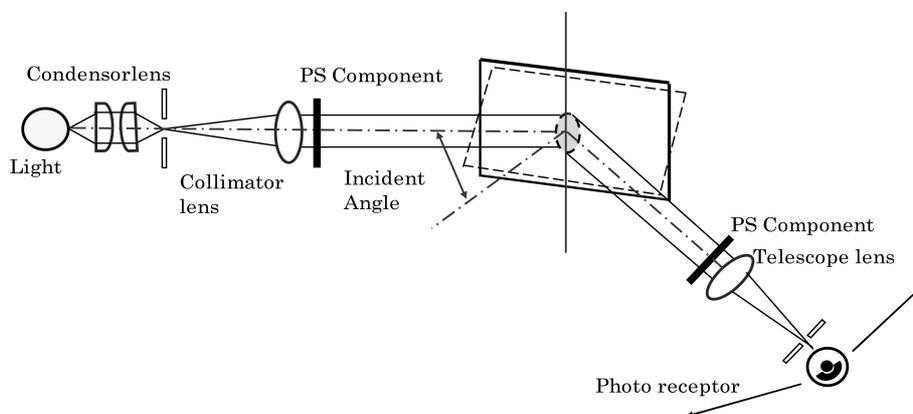


Fig. 4 Schematic diagram of goniophotometer.

Table 1 Coated paper properties for the test samples

Test Samples	Visual Perception of Print Gloss		Specular Gloss		Ink Setting Rate (density)	Surface Roughness	
	Feeling of sharpness (points)	Feeling of glossy (points)	Print Gloss (%)	Sheet Gloss (%)		*Ra (μm)	Ra (500mm^{-1})
A	5.0	4.2	84	57	25	0.46	0.003
B	4.5	5.0	77	51	31	0.55	0.007
C	2.0	1.2	50	37	7	0.86	0.015

* Ra; Arithmetic average deviation from the centerline.

が印刷面の表面粗さに影響を受けていることもわかった。

本結果に関しては、ZYGOによる周波数解析結果を図6に示すが、鮮映感に対する各周波数におけるRaの相関性は $100 \sim 1,000 \text{mm}^{-1}$ の周波数領域(波長として $10 \sim 1 \mu\text{m}$ の領域)で高くなる傾向を示している。この周波数領域は印刷時のインキのスプリットパターンや顔料の粒子径に相当するサイズ領域と思われる、これらの因子が印刷表面粗さに影響を与え、鮮映感に対する支配的な因子になっていると推察される。

一方、視感印刷光沢のうち光沢感については、正反射光沢度計により測定した印刷光沢との相関係数は $r=0.76$ であり、鮮映感ほど高くはなかった。正反射光沢度計により測定した印刷光沢が良好であるにも関わらず光沢感の低いサンプルが見受けられた。

参考例として、図7(1)印刷面が最も平滑で印刷光沢・鮮映感も良好であるにも関わらず光沢感の低いサンプルA、(2)平滑性や印刷光沢・鮮映感がそれほど良好でないのにも関わらず光沢感が高いサンプルBといった特徴

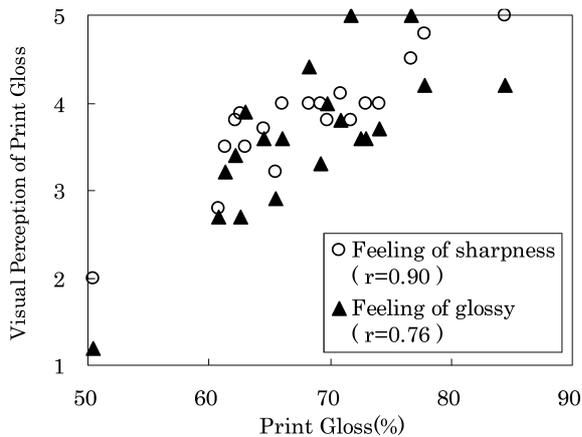


Fig. 5 Correlation between visual perception of print gloss and specular print gloss.

的なサンプルの光学顕微鏡による印刷表面の観察結果を示した。その印刷表面は明らかにサンプルAの方が良好であることがわかる。ここで図7に示したサンプルBの特徴的な物性としては、表1にも示してあるが、インキセット性が非常に遅いという点が挙げられる。一般にインキセット性

Table 2 Correlation coefficient; correlation between visual perception and other coated paper properties

Properties	Visual perception of Print Gloss	
	Feeling of sharpness	Feeling of glossy
Specular Print Gloss	0.90	0.76
Specular Sheet Gloss	0.59	0.40
Ink Setting Rate	0.63	0.80
Ra	-0.61	-0.52
Ra (at frequency of 500mm^{-1})	-0.88	-0.80

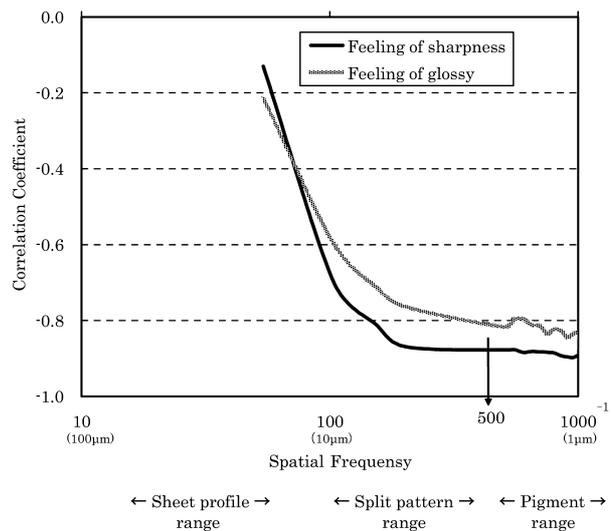


Fig. 6 Effect of Ra at each spatial frequency to visual perception of print gloss.

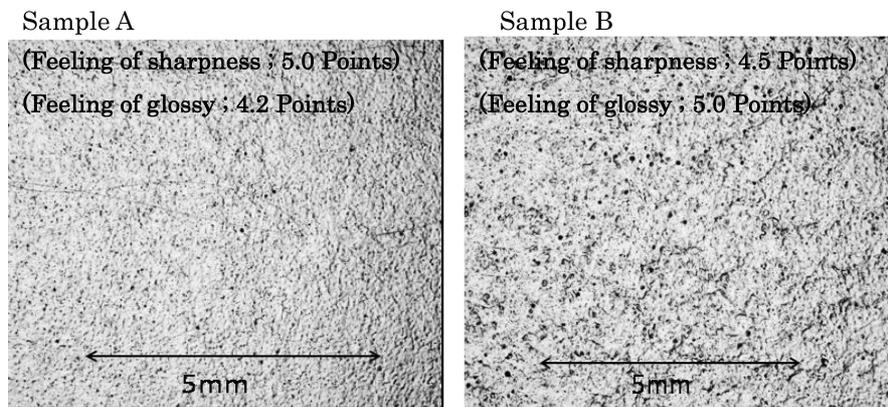


Fig. 7 Comparison of surface properties of printed samples.

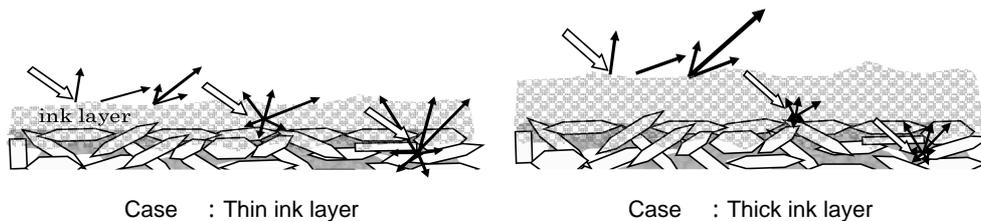
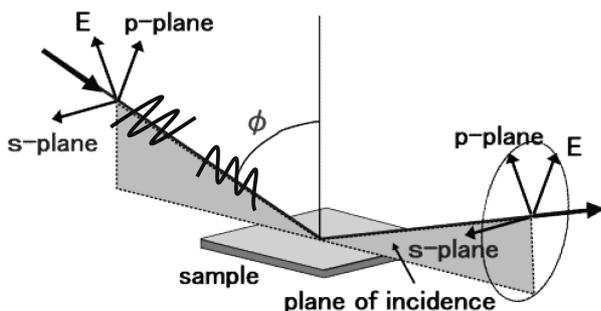


Fig. 8 Model of internal diffuse reflection.



$$\theta = \tan^{-1} n$$

(n = Refractive index)
 (For reference standard : $\theta = 57^\circ$ as $n = 1.56$)

Fig. 9 Model of P and S waves.

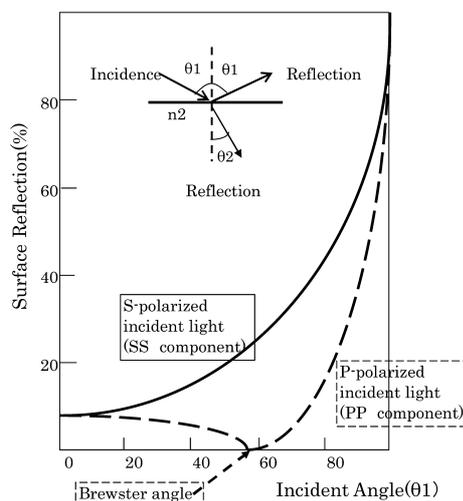


Fig. 10 The polarization property for reference standard.

はインキのスプリットパターンに影響を与えるとされており、そのスプリットパターンが光沢感に対して支配的因子であるならば、印刷表面粗さに反映されることとなり、より印刷表面粗さとの相関性が高くなっても良いものとする。しかしながら、表2や図6に示すように、光沢感と印刷表面粗さ $R_a(500\text{mm}^{-1})$ との相関係数は $r = -0.80$ にとどまっている。

そこで、このインキセツ性がインキのスプリットパターン以外の何かしらの因子に影響を与えていると考え、光沢感を支配する因子を明確化するために更なる詳細な検討を行った。

3.2 インキ膜厚の違いと内部拡散反射光との関係

インキセツ性が遅いということに特徴のあるサンプルBに対して、その光沢感が良好になる理由として深さ方向の要素、いわゆるインキセツ性の違いによるインキ層の膜厚の違いが何かしらの影響を与えているのではないかと推測し、以下のような仮説を立て、その検証を行った。

Lambertの法則より、透過光の強度は媒質の長さが増加するにつれて指数関数的に減少する。これを印刷物の深さ方向(断面)での光の挙動に適用し、その反射や拡散を考えた時の模式図を図8に示す。図8は光が印刷表面での反射・拡散に加え、インキ層内部や塗工層へと透過した際に起こる反射・拡散の状態をイメージしており、Case Iはインキ層の膜厚が薄い場合を、Case IIはインキ層の膜厚が厚い場合を想定したものである。ここで、Lambertの

法則によればCase IIの方が塗工層における入射光強度はCase Iより小さくなり、塗工層で起きるであろう拡散による反射光強度も小さくなると考えられる。

同様なケースはインキセツ性が異なる場合にも適用可能と思われ、インキセツ性が遅いということは、インキが塗工層内部に沈みにくく、インキ膜厚は厚くなる方向となり、塗工層における拡散反射光強度(以下、内部拡散反射と略)は小さくなるとされる。この場合、視感印刷光沢の光沢感も良好になるものと推察される。よって、この内部拡散反射に着目し、以下光沢感についての内部拡散反射の影響を明確にすべく三次元変角光沢計を用いて検討を行った。図9に光の入射面に対するP波、S波の振動方向を表した模式図と後で説明するBrewster angleを求める式を示す。内部拡散反射光のみを測定するには光の振動方向を光の入射面と平行な振動、即ちP偏光する必要がある。このP偏光された光は媒質の内部に侵入する性質を持つことが知られている。そして、P偏光された光はある入射角で全く鏡面反射しない角度が存在する。この角度はBrewster angle(偏光角)と呼ばれ媒質の屈折率によって一義的に決定され、通常の印刷光沢測定で使用するJIS規格の黒色ガラス標準板では屈折率1.567である

ため図9に示した式より Brewster angle は約 57 となる。図 10 に黒色ガラス標準板を用いた際の P 偏光測定における各受光角度での分布特性を示すが、Brewster angle では表面反射が全く無くなっていることが示されている。本実験では印刷に用いるインキの屈折率は不明ではあるが、塗工紙に一般に使用されるクレーの屈折率 (約 1.56) や炭酸カルシウムの屈折率 (約 1.57) を考慮し、ほぼ黒色ガラス標準板に近いと考え Brewster angle を 57 に設定して本手法を適用した。

3.3 視感印刷光沢「光沢感」と内部拡散反射光強度との関係

インキ層の膜厚の違いにより内部拡散反射に違いがあるかを確かめるために、塗工紙の白紙面と膜厚の薄い単色ベタ印刷部 (単色 Bk) 並びに膜厚の厚い 4 色ベタ印刷部 (重色 BkCMY) の比較を行った。図 11 に三次元変角光沢計により測定した内部拡散反射の反射光分布特性を示す。図 11 には、内部拡散反射のみの情報を本測定により選択的に抽出できているか否かの判断の目安として、鏡面仕上げされた黒色ガラス標準板を測定した結果も併せて示す。尚、内部拡散反射強度の各サンプル間の差を明確にするため、光源の感度を通常の 1,000 倍にして測定を行った。鏡面仕上げされた黒色ガラス標準板は入射光全てが標準板の表面で鏡面反射され、内部拡散は存在しないはずである。このことから、図 11 の標準板の測定結果において、どの受光角度にも反射が存在しない (反射率が 0%) の結果は、本測定により内部拡散反射のみの情報が測定結果に反映されていることを示唆している。一方、インキ層の膜厚が異なる 3 種のサンプルの測定結果においては、表面の微細な凹凸の影響を受け、受光角度 40° ~ 70° 付近に内部拡散反射以外の反射成分情報も

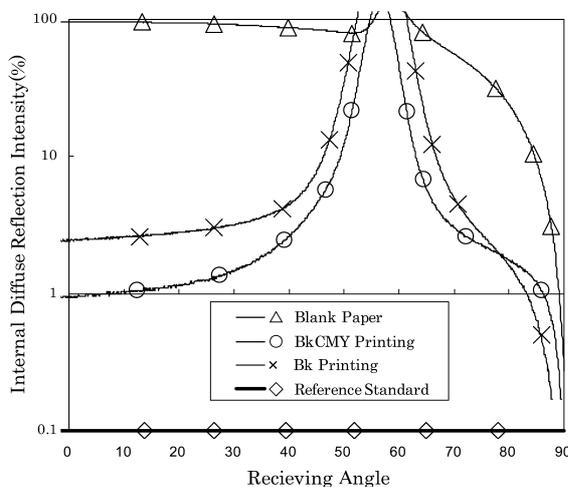


Fig. 11 The distribution property of internal diffusion reflection.

混在する結果が見受けられる。しかし、それ以外の範囲ではほぼ内部拡散反射の情報が得られており、インキ層の膜厚が厚くなるほど内部拡散反射が小さくなり、インキ層の膜厚が内部拡散反射に影響を与えていることが示される結果となっている。

次にインキセット性の異なるサンプル A・B・C について同様な測定を行った結果を図 12 に示す。図 12 では予想通りインキセット性の違い順に内部拡散反射光強度が小さくなっており、インキセット性がスプリットパターンといったような印刷表面性以外に、インキ層の膜厚にも影響を与え、その結果、内部拡散反射の違いに影響を及ぼしていることが明らかとなった。加えて、図 12 では、内部拡散反射光強度が強いほど光沢感は低下する傾向が示されていることから、20 サンプル全部に対して本法を適用し、光沢感と各受光角度における内部拡散反射光強度との相関性を調べた。その結果を図 13 に、また、光沢感と内部拡散反射光強度とのプロットを図 14 に示す。図 13 より、光沢感と内部拡散反射光強度はきわめて強い逆相関の関係にあり、内部拡散反射が小さいほど光沢感は良好となる傾向にあることが明らかとなった。また図 14 より、その相関性は $r = -0.97$ と非常に高く、光沢感には内部拡散反射の程度が大きく寄与しており、その内部拡散反射光強度を測定することによって、光沢感を定量化することが可能であることがわかった。

以上のように光沢感を議論する上で、内部拡散反射の情報のみを選択的に抽出し考察することは有効な手段であることがわかった。

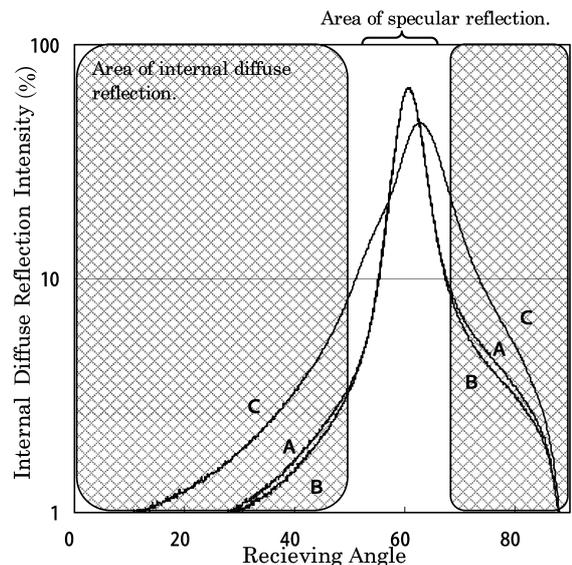


Fig. 12 The distribution property of internal diffusion.

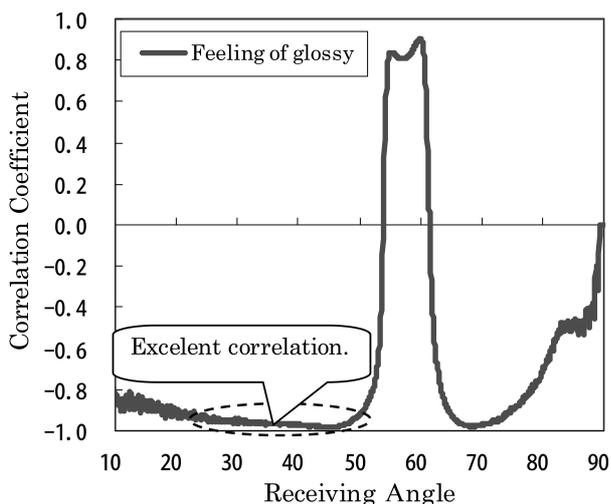


Fig. 13 Correlation between Visual perception of print gloss and feeling of gloss.

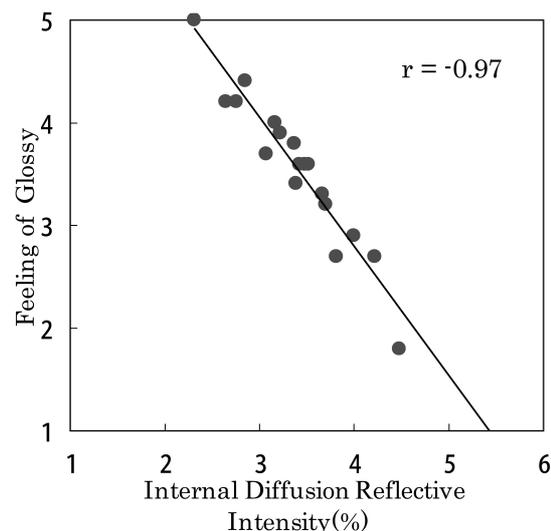


Fig. 14 Correlation between a feeling of gloss and internal diffusion reflection intensity at receiving angle of 45°.

4 まとめ

- 1) 視感印刷光沢のうち「鮮映感」は印刷物の鏡面反射と相関性が高く、特に10 μ m以下の波長領域の凹凸に起因する表面粗さが鮮映感に影響が大きいことがわかった。
- 2) 視感印刷光沢のうち「光沢感」は内部拡散反射が小さいほど良好となることが明らかとなった。この内部拡散反射はインキ層の膜厚により変化し、光沢感インキセツ性等の違いに起因するインキ膜厚の変化に影響を受けることも明らかとなった。
- 3) 視感印刷光沢の定量化として、P偏光で偏光角測定することで内部拡散反射光のみを測定することが可能である。そして、正反射受光角度から約10°以上ずれた内部拡散反射光強度を採用することで視感印刷光沢の「光沢感」と極めて高い相関を得ることができ、定

量化することが可能となった。

発表先

渡辺 武, 松田信弘, 松井尚, 平成17年紙パルプ技術協会年次大会要旨集, 559(2005)

参考文献

- 1) R.S. Hunter & R. Harold: "The Measurement of Appearance, 2nd Ed.", John Wiley & Sons Inc., New York(1987)
- 2) 吉島重朝, 色材, 60, 552(1987)
- 3) Nobuhiro Matsuda, TAPPI Coating Conference Proceedings, 285(2000)
- 4) 蓮沼宏; "光沢", コロナ社(1960) p81.



渡邊 武
Takeshi Watanabe
1985年入社
四日市研究センター
高分子研究所
エマルジョン開発室



松田信弘
Nobuhiro Matsuda
1992年入社
四日市研究センター
高分子研究所
エマルジョン開発室



松井 尚
Hisashi Matsui
1972年入社
四日市研究センター
高分子研究所
エマルジョン開発室