紙のワイマークおよび 地合の測定と検討(第2報)

国策パルプ工業中央研究所

土田 幸造・半田 美次・門屋 卓

宇都宮大学工学部 村 田 正 男

Photoelectric Measurement of Wire Mark and Sheet Formation

Part 2 The Quantitative Representation of Sheet Formation

Kozo Tsuchida, Yoshiji Handa, Takashi Kadoya and Masao Murata

The measuring method of the wire mark and its quantitative representation were dealt with in a previous paper. In this paper, we discuss the method for evaluating the sheet formation by analyzing the light transmitted through the paper. Variation in basis weight, thickness and density of small cutted disks (0.55cm ϕ) and their corresponding optical sheet properties were measured. A good correlation was obtained between the optical transmittance and the basis weight variation ($r_{T_0W} = -0.972$, $r_{T_0W \cdot Z} = -0.851$). From this result, a coefficient of variation of basis weight S_W , which is defined as a ratio of the standard deviation to the mean value of a basis weight can be expressed by the optical quantities as

$$S_W = \frac{S_{T_0}}{\left| \ln \frac{T_0}{1-R_\infty} \right|}$$

were S_{T_0} : coefficient of optical transmittance variation

T_0 : mean transmittance

R_∞ : reflectance of a layer of infinite thickness

In addition, the auto-correlation function of sheet formation was calculated (Fig. 13) and spectral distribution of variation was also briefly discussed (Fig. 14).

II 地 合

“紙の地合”は繊維が紙の中に分布しているその均一性と定義され、シートの粗密すなわち坪量、厚さまたは緊度の局所的なムラの程度を示すものである。したがってこれは紙の物理的な性質であるが、慣例的には紙を通る透過光の均一さの割合によって測定されている。最近に至って、各種の地合測定装置が開発されてきているが、製紙メーカーや印刷業者たちによるこの紙地合の良否の判定には、長い間、視覚を主とした主観的な感覚に依存しなければならなかった。

地合を測定する方法としては紙面の一定間隔において小さな面積部分を切り取り、精度の良い天秤で秤量する方法がまず考えられる。これは地合の本質的な定義に適った情報を与えるものではあるが、通常の試験としては煩雑であり労力がかかり過ぎて適当でない。最

近において β 線を用いて1.5×1.5mm²の微小面積の質量を連続測定する方法¹⁾が報告されているが、一般的には紙を透過する光の均一さの割合を測定する装置が考案され実用化されており、その代表的なものとしてThe QNSM formation testerがある²⁾。

しかしながら紙の地合は繊維構成の物理量で表示されるべきものであって、これが透過光線で検出される場合、光学的に異質の紙料を取扱うとき誤った結果を与えることになる。すなわち紙の透明度や色調による影響が現われ、一般に褐色の紙は黄色または白色の紙に比して地合が悪いという傾向を与えることになる。この点についてはThe QNSM formation testerの検討においてLockにより指摘されており³⁾、この補正の方法については未解決の状態である。

つぎに紙の地合度の数量化に当たり、どのような表現方法を適用すべきであるかが問題となる。紙の構造

をその断面の形状から見れば、平均的な値に変動成分が重畳しその変動値の大きさや波の形状は大小さまざまである。これらの表現においては統計的あるいは物理的に妥当な評価方法が与えられることが必要であって、地合度の上下限(100%悪い地合, 100%良い地合)が規定されることにより地合度が明確に表現されることになる。このような変量が光電的に検出される場合、変動因子である物理量と光電シグナルとの対応関係が問題となってくる。

以上の諸点から本報告においては紙の地合を光電変換により検出するときの数量化および評価方法について述べ、紙料の光学特性に基づく影響について検討を行なっている。

1) 紙の光学的性質

光の拡散物体としての紙の光学的性質は Kubelka and Munk の式⁴⁾によって極めてよく表現されることは既に知られていることである。背面に反射物体のない場合の拡散透過率 T_0 および拡散反射率 R_0 は次式で表わされる。

$$T_0 = \frac{b}{a \sinh bsZ + b \cosh bsZ} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$R_0 = \frac{\sinh bsZ}{a \sinh bsZ + b \cosh bsZ} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで Z ; 紙の厚さ, s ; 光拡散係数, K ; 光吸収係数, $a=1+K/s$, $b=\sqrt{a^2-1}$

しかるに $Z \rightarrow \infty$ の時の反射率を R_∞ , $sb=r$ とおくと上式はおのおの次式で表わすことができる。

$$T_0 = \frac{(1-R_\infty^2)e^{-rZ}}{1-R_\infty^2e^{-2rZ}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$R_0 = \frac{R_\infty(1-e^{-2rZ})}{1-R_\infty^2e^{-2rZ}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

この式で r は紙厚による光の減衰を示す係数であるので、ここでは仮に“光の減衰係数”とすると、 s および K との関係は次式で示される。

$$r = \sqrt{(s+K)^2 - s^2}$$

しかるにこれらの式を実際に紙に適用する場合、紙の物理測定において紙の均一性と測定の精度から紙の厚さを測定することが困難であるので、紙厚を坪量に置換えて表現することが通常行なわれており⁵⁾、その場合 $s \rightarrow s'$ (比散乱係数), $K \rightarrow K'$ (比吸収係数) としておきかえられる。したがって $r \rightarrow r'$ (比減衰係数) とおくと、

$$r' = \sqrt{(s'+K')^2 - s'^2} \quad \dots\dots\dots (6)$$

したがって(3)および(4)式は

$$T_0 = \frac{(1-R_\infty^2)e^{-r'W}}{1-R_\infty^2e^{-2r'W}} \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$R_0 = \frac{R_\infty(1-e^{-2r'W})}{1-R_\infty^2e^{-2r'W}} \quad \dots\dots\dots (8)$$

ここで W =坪量

R_0 , R_∞ および W の平均値は比較的簡単な可測量であるから(8)式より r' が求められる。

$$r' = \frac{1}{2\bar{W}} \ln \frac{(1-\bar{R}_0 R_\infty) R_\infty}{R_\infty - \bar{R}_0} \quad \dots\dots\dots (9)$$

ここで $\bar{W}$; 平均坪量, $\bar{R}_0$; 平均反射率

(7), (8)の関係を実際の紙料について確かめるために、通常の新聞用紙の原料およびその配合率を用いて坪量の異なる手抄紙を作成し、平均坪量 $\bar{W}$ に対する平均の透過率 $\bar{T}_0$ および平均の反射率 $\bar{R}_0$ の測定結果を第1図に示す。多数重ね合わせた紙料の反射率の測定から

Fig. 1 Mean transmittance and reflectance as a function of mean basis weight. Hand made sheet—Newsprint

$R_\infty=0.58$ を得、これを(9)式に代入することにより $r' = 0.0261 (\text{m}^2/\text{g})$ を得る。図中の実線はこれら R_∞ , r' の実測値を用いて(7)および(8)式から計算した結果であって、実験値と非常によく一致している。

実際の数聞用紙の坪量は $40 (\text{g}/\text{m}^2)$ 以上であるので $R_\infty^2 e^{-2r'W} \ll 1$ とみなすことができる。したがって(7), (8)式は近似的に、

$$T_0 \approx (1-R_\infty^2)e^{-r'W} \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$R_0 \approx R_\infty(1-e^{-2r'W}) \quad \dots\dots\dots (11)$$

となり極めて簡単な式で表現することができる。第1図の点線はこの関係を示したもので光散乱物質に拡張された Lambert-Beer 則とみなすことができる。

第2図はクラフト紙、上質紙について同様の測定例を示したものであり、紙質によって透過率が大きく異なっている。この結果から知れるように白色度の高い上質紙の中でその薄手のものは近似式からのずれが大

Fig. 2 Mean transmittance as a function of mean basis weight.
Hand made sheet

きく(10)式の関係は適用できないが、通常の新聞用紙、クラフト紙には十分適用しうるものとみなすことができる。

2) 地合度の表示

地合は紙の微小部分の厚さの変動または坪量の変動に基づくものと考えられる。これが正規分布をなすという仮定が成立するならば、これらは正規確率過程にある変動量として取扱うことができる。正規分布をなす確率過程には次の定義が与えられる。

“正規定常過程は平均値、標準偏差および自己相関係数により一義に定まる。”

統計的には標準偏差と平均値の比は変動係数と定義されているので、紙の地合はその物理量(厚さまたは坪量)の変動係数と自己相関係数を測定することにより数量的表示が可能となり、前者は変動量の大きさを、後者は波の形状、分布状態に関する情報を与えることになる。

これらの変量が光電的に検出される場合、光電シグナルのa, c成分がrms値で測定されるならば、そのa, cに対するd, cの比は紙の光透過性の変動係数と等価的に等しい値を与えることになる。Moen⁶⁾はこの値をパーセントで表わして“formation wildness”と称している。

1) 変動係数

紙の坪量の変動係数を S_W とすると上の定義から次式で与えられる。

$$S_W = \frac{[W - \bar{W}]_{\text{rms}}}{\bar{W}} \times 100(\%) \quad \dots\dots\dots (12)$$

ここで $[W - \bar{W}]_{\text{rms}}$; 坪量変動成分の標準偏差
厚さの変動係数 S_Z , 緊度の変動係数 S_D も上と同様に与えられる。同様に光の透過率が正規分布をなすという仮定が成立するならば、同様の表示を与えることができる。これを S_{T_0} とおくと、

$$S_{T_0} = \frac{[T_0 - \bar{T}_0]_{\text{rms}}}{\bar{T}_0} \times 100(\%) \quad \dots\dots\dots (13)$$

ここで $\bar{T}$; 透過率の平均値, $[T_0 - \bar{T}_0]_{\text{rms}}$; 透過率変動成分の標準偏差

しかるにここにおいて紙の地合の基本因子として坪量、厚さおよびそれらの比である緊度を考え、これらが光の透過性に及ぼす影響の度合を検討する目的で次のような実験を行なった。

クラフトパルプを原料としてテストマシンにより6~12mm程度の大きさのブロック(周波数分析により確認)が優勢に存在している極めて悪い地合の紙料を故意に作成し、その紙面において任意の50個所で直径5.5mmの円形微小面積について光の透過率を測定し、次いで同一個所同一面積部分を打抜いてその重量(坪量表示に換算)、厚さおよび緊度を測定した。重量は、1/100mg 厚さは1/1000mmのオーダーで測定した。

坪量および厚さに対する透過率の測定例を第3図および第4図に示す。また標準偏差、平均値、変動係数および単相関、偏相関、重相関の各係数の計算結果を第1表に示す。

Fig. 3 Correlation between basis weight and transmittance.

Fig. 4 Correlation between thickness and transmittance.

これらの結果を見ると、変動係数においては測定対象の物理因子それぞれ異なった値を示しており、光の透過率の変動係数が最も大きな値となっている。このことは他の紙料（新聞用紙、上質紙）においても同様な傾向にあることが後の実験において確認されている。また透過率に対する相関係数は坪量が最も高く単相関係数-0.972、偏相関($r_{T_0 W \cdot Z}$)においては-0.851が得られており厚さのそれに比していずれも高い関係にあることが明らかとなった。したがって坪量、厚さおよび緊度の物理因子が光の透過性に及ぼす影響は総て坪量の変化であると考えて（坪量の変化に換算して）表現することが最も妥当であると考えられる。

光電的検出によって通常測定されるのは透過率の変動係数 S_{T_0} であるので、これから本質的な地合度の表示を行なうためには、坪量の変動係数 S_W に変換せしめることが必要となる。 S_{T_0} と S_W との関係は次のようにして求められる。

平均坪量 $\bar{W}$ に対する平均透過率を $\bar{T}_0$ とすると(10)式が適用される紙料においては

Table 1

	Symbol	Standard deviation	Mean	Coefficient of variation
Transmittance	T_0	2.542(%)	9.886	25.75(%)
Basis weight	W	9.745(g/m ²)	84.204	11.57(%)
Thickness	Z	0.826(10 ⁻² mm)	10.650	7.76(%)
Density	D	0.0468(g/cm ³)	0.7889	5.81(%)

Correlation coefficient

$$r_{T_0 W} = -1.972$$

$$r_{T_0 Z} = -0.905$$

$$r_{T_0 D} = -0.581$$

$$r_{W Z} = 0.899$$

$$r_{W D} = 0.816$$

$$r_{Z D} = 0.476$$

Partial correlation coefficient

$$r_{T_0 W \cdot Z} = -0.851$$

$$r_{T_0 Z \cdot W} = -0.299$$

Multiple correlation coefficient

$$r_{T_0 \cdot W Z} = 0.950$$

$\bar{T}_0 = (1 - R_\infty^2) e^{-r' \bar{W}}$ ..... (14)
なる関係が得られる。したがって(10)式は次のように表わすことができる。

$$T_0 = \bar{T}_0 e^{-r'(W - \bar{W})} \quad \text{..... (15)}$$

しかるに通常の紙は $r'(W - \bar{W}) \ll 1$ の関係にあるから

$$\frac{T_0 - \bar{T}_0}{\bar{T}_0} \simeq -r'(W - \bar{W}) \quad \text{..... (16)}$$

したがって

$$\frac{[T_0 - \bar{T}_0]_{\text{rms}}}{\bar{T}_0} = r' [W - \bar{W}]_{\text{rms}} \equiv S_{T_0} \quad \text{..... (17)}$$

また(14)式から

$$r' \bar{W} = \left| \ln \frac{\bar{T}_0}{1 - R_\infty^2} \right| \quad \text{..... (18)}$$

(17)式との比をとると

$$\frac{[T_0 - \bar{T}_0]_{\text{rms}}}{\bar{T}_0} \cdot \frac{1}{\left| \ln \frac{\bar{T}_0}{1 - R_\infty^2} \right|} = \frac{[W - \bar{W}]_{\text{rms}}}{\bar{W}} \equiv S_W \quad \text{..... (19)}$$

$$\therefore S_W = S_{T_0} \frac{1}{\left| \ln \frac{\bar{T}_0}{1 - R_\infty^2} \right|} \quad \text{..... (20)}$$

すなわち S_{T_0} と S_W との関係は(20)式で与えられる。 $\bar{T}_0$ 、 R_∞ および S_{T_0} は光学的可測量であるから、これらの値を測定することにより S_W を求めることができる。いま、計算の1例として第1表に示した光学測定値から S_W を求め、重量測定による S_W 値との比較を行なうと次のようになる。

$$T_0 = 0.09886, \quad R_\infty = 0.305 \quad (\text{実測値})$$

$$S_{T_0} = 25.75(\%)$$

これらを(20式)に代入すると

$$S_w = \left| \frac{25.75}{\ln \frac{0.09886}{1-0.305^2}} \right| = 11.62(\%)$$

しかるに重量測定から求めた S_w 値は 11.57% (第1表) であり、ほぼ一致せる結果を得る。

このような $S_{T_0} \rightarrow S_w$ の変換は同一紙質のものを同一条件下で測定するランニングテストの如き単に地合の良否の比較においては特に必要とされないが、異種試料間の地合の判定や同種の紙料でも漂白度、原料組成の変化または紙料の経年変化などによって色調が変化する場合には本質的に必要となることである。

Fig. 5 Reflectance curve

Fine paper, Newsprint and Kraft paper

第5図はクラフト紙、新聞紙および上質紙の分光反射率の測定例であって紙質によって色調が著しくなっている。このことは地合測定装置の光学特性により測定値も異なることを示すものであって、かかる場合に S_w 値に置換えることは装置の分解能(走査スポットのサイズに依存し、スポットサイズが小さくなるほど分解能が高くなり、変動係数の測定値も大となる)が規定されるかぎり装置の光学特性には無関係に表現され、地合の定義に従った本質的な表現を行なうことができることになる。

これまでの検討は各物理因子の変動は正規分布をなすという仮定の上に立って行なってきた。この仮定は

特に光の透過性については坪量の exponential にきいてくるという事実から見て多少強引であるという懸念を抱かせるように思われる。しかしながら、Brechtら⁷⁾の研究によれば通常の市販の紙の透明度の変動成分は正規分布として十分適用できる領域にあることが示されている。すなわち走査光スポットの直径 1 mm の走査により袋用紙および筆記用紙の透明度の変動を計数し、%度数密度および逆総度数(一定透明度数値以上の測定総計のパーセント)を求め、それぞれ第6図および第7図の結果を得ている。第6図の確率グラ

Fig. 6 Inverse cumulative frequency diagram of percent transparency

Fig. 7 Frequency distribution diagram

フに見るようにほぼ直線をなしており正規分布であることが明らかである。アート紙、新聞用紙についてもやはり同様な結果が得られている。第2表は Brechtらの測定による各種用紙の透明度平均値、標準偏差および変動係数を示したものである。紙質により変動係数が大きく異なるのは地合ムラによる以外に色調の影響が含まれていることを示すものである。

第8図は一般的な新聞用紙における透過光の偏差($T_0 - \bar{T}_0$)を正規確率紙にプロットした例である。透

Table 2

	Basis weight (g/m ²)	Transparence mean T_m (%)	Standard deviation S	Coefficient of variation V (%)
Art paper	100	7.6	0.3	4.0
Sack paper	68	10.1	1.6	15.8
Newsprint	52	12.9	1.1	8.5
Writing paper	88	13.0	0.4	3.1

$$V = \frac{T_m}{S} \times 100$$

Fig. 8 Normal distribution of transmitted light variable components—newsprint.

過光の偏差は正規分布をなしていることは確かなことであり、このことはとりもなおさず6σより坪量の偏差 $(W - \bar{W})$ が正規分布をなしていることを示すものである。

これまで紙の地合度を表わすものとして透過光および坪量の変動係数について検討を行ってきた。これらの値についてもう少し具体的な説明を加えるために地合の波形が矩形波、正弦波および正規分布をなす雑音波の理想形を仮定し、おのおのの S_W , S_{T0} を示すと第9図のような関係が得られる。

図において矩形波の場合、 S_W 値は坪量の最大値 W_m とその平均値 $\bar{W}$ の割合によってそのグレードが変わり 0~100% の間に存在する。最も悪い地合の場合は坪量の低部が零、すなわち完全に穿孔されている場合に相当し、このとき $W_m = 2\bar{W}$ となり $S_{Wmax} =$

Fig. 9 Comparison of variation coefficients. Square wave, Sine wave and Random wave

100%となる。最も良い地合では $W_m = \bar{W}$ となり $S_{Wmin} = 0\%$ である。これに対し S_{T0} は 0 ~ $\tanh r'\bar{W}$ 間において hyperbolic tangential な変化をし、その上限は紙料の比減衰係数 r' および平均坪量 $\bar{W}$ によって定まる。

正弦波の場合は $S_{Wmax} = 70.7(0\%)$ 、正規分布雑音波 (W_m の確率 0.0032% の場合) では $S_{Wmax} = 25\%$ であってこれ以上にはなり得ないことになる。

このような理想形による具体例から知れるように地合度を S_{T0} で表示することは r' および $\bar{W}$ によって影響され極めてあいまいな感を免れない。 S_W による表現が妥当であることがこの例からも知ることができよう。

ロ) 自己相関係数

第10図に示すように地合曲線を作る方向に x 軸、

Fig. 10 Formation curve

各点の高さを $Z(x)$ とする。 $Z(x)$ の形は確率としてのみ定義され、定常過程にあるものとして自己相関関数 $R(\tau)$ は次式で与えられる⁸⁾。

$$R(\tau) = \lim_{L \rightarrow \infty} \frac{1}{L} \int_0^L \{Z(x) - \bar{Z}\} \{Z(x+\tau) - \bar{Z}\} dx \quad (21)$$

$$\text{ここで } R(0) = [Z - \bar{Z}]^2_{\text{rms}} \quad (22)$$

$R(\tau)$ を正規化した $\rho(\tau)$ は自己相関係数といい次式で与えられる。

$$\begin{aligned} \rho(\tau) &= \lim_{L \rightarrow \infty} \frac{1}{L} \frac{\int_0^L \{Z(x) - \bar{Z}\} \{Z(x+\tau) - \bar{Z}\} dx}{[Z - \bar{Z}]^2_{\text{rms}}} \\ &= \frac{R(\tau)}{[Z - \bar{Z}]^2_{\text{rms}}} \quad (23) \end{aligned}$$

また地合曲線の原因関数を直接フーリエ変換したときパワースペクトル $F(\omega)$ が得られる。

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \{Z(x) - \bar{Z}\} e^{-j\omega x} dx \quad (24)$$

この $F(\omega)$ は $R(\tau)$ とフーリエ変換の関係にあつて次式で表わされる。

$$F(\omega) = 4 \int_0^{\infty} R(\tau) \cos \omega \tau d\tau \quad (25)$$

地合曲線に周期性があるかどうかまたは繊維フロククの形状の分布状態などの波形に関する統計的性質は $\rho(\tau)$, $R(\tau)$ または $F(\omega)$ を求めることにより表現可能となる。

一般に紙地合の自己相関係数は第11図に示すように三つの形に大別されることが Robertson により示されている⁹⁾。I は微小粒子が不規則に分布している場合であり、II は I の分布の他に周期成分を有する場合

Fig. 11 Correlogram of paper formation

合、III は微小粒子に大きな粒子が不規則分布をなしている場合に相当する。

これらの三つの形の $\rho(\tau)$ - τ 曲線 (コレログラム) を数学的に表現しやすい形で表わすならば、およそ、次のような式で近似せしめることができる。

$$\rho(\tau) = e^{-B\tau} \cos 2\pi f_m \tau \quad (26)$$

ここで B は定数

したがって

$$R(\tau) = [Z - \bar{Z}]^2_{\text{rms}} e^{-B\tau} \cos 2\pi f_m \tau \quad (27)$$

このような自己相関関数が与えられたときのパワー

スペクトルを求めると(25)式より

$$\begin{aligned} F(f) &= \frac{2[Z - \bar{Z}]^2_{\text{rms}}}{B} \left[\frac{1}{1 + \left\{ \frac{2\pi(f - f_m)}{B} \right\}^2} \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{1 + \left\{ \frac{2\pi(f + f_m)}{B} \right\}^2} \right] \quad (28) \end{aligned}$$

またこのスペクトルの周波数積分値は

$$\int_0^{\infty} F(f) df = [Z - \bar{Z}]^2_{\text{rms}} \quad (29)$$

なる関係がある。

(28)式で表わされる f に対する $F(f)$ の関係を図示すると、ほぼ第12図に示す関係が得られる。図におい

Fig. 12 Power spectrum curves

て I, II の曲線は第11図のおおのに対応するパワースペクトル曲線である。 B_I, B_{II} はパワースペクトルの最大値 $F(f_m)$ の $1/2$ となる周波数幅 (半値幅) である。

以上の検討から地合曲線の自己相関係数を(26)式で近似的に表現するならば、中心周波数 f_m (最も優勢なフロクサイズ) および半値幅 B (フロクの分布) を定めることにより、その特徴を明確に表示することができる。これらは地合曲線のコレログラム、または周波数分析によるパワースペクトルの測定から求められるが、一般に前者よりも後者の方法によるほうが簡単である。

測定例として一般の電気絶縁用紙 (クラフト 40g/m²) のコレログラムを第13図に示す。この測定例においては地合の周期性が明らかに観測され、この結果においては最も優勢なフロクサイズはマシン方向で 2.5mm 程度と判定される。第14図は同一紙料の周波数分析の結果である。この分析は同調検出器を用いて周波数 $1/2$ オクターブの間隔で行なった極めて簡単な分析結果であるが、 $1/8 \sim 1/16$ インチ (1.6~3.2mm) のフロクサイズが優勢に存在していることを示しておりコレログラムの結果と一致している。周波数分析を微

Fig. 13 Correlogram
—Dielectric paper

Fig. 14 Frequency analysis of transmittance
fluctuation—Dielectric paper

細な周波数間隔で行なうならば更に明確な結果が得られよう。

以上述べたように紙の地合度は変動係数および自己相関係数を決定することにより一義に表現可能である。これらは光電変換後の地合曲線の平均値、標準偏差お

よび周波数分析によって最も優勢なブロックサイズおよび半値幅とにより具体的に明示される。したがって、紙の地合度の尺度を与える数値として地合指数 (Formation index) は次のような表現を用いることが最も妥当であろうと思われる。

$$\text{地合指数 (F.I.)} = S_w(f_m, B)$$

ただし、 S_w ; 坪量の変動係数

f_m ; 最も優勢なブロックサイズ

B ; f_m を中心としたブロック分布の半値幅

以上紙の地合を光電的に検出する場合の表示方法について検討を行なってきたが、測定器を用いて各種紙質の実測結果については次の機会にゆずることとする。

また第1報において述べたワイヤマークの測定方法を更にもう一步進めて走査速度を高めて通常の周波数分析可能なレベルに上昇せしめることにより、ここで取扱った地合の表示法とはほぼ同様な取扱いをワイヤマークに対して行なうことができる。これらについてはいずれも第3報にゆずことにしたい。

終わりに臨み本研究に当たり種々ご助力戴いた東京都立大学工学部芹沢教授および栗国講師にお礼申し上げます。

参考文献

- 1) W. Sandermann, W. Schweers und W. Wendeborn ; Das papier 20, 3, 117, (1966)
- 2) G. Burkhard, P. E. Wrist and G. R. Mounce ; P.P.M.C. 61, 5, T319 (June, 1960)
- 3) I. I. Locke ; Paper Trade Journal 140, 40, 28 (Oct. 5 1964)
- 4) Kubelka P ; Journal of the Optical Society of America 38 (1948) 448,
- 5) J. A. Van den Akker ; TAPPI 32, 11, 498 (Nov. 1949)
- 6) C. J. Mone ; TAPPI 41, 4, 212A (April 1958)
- 7) W. Brecht ; Das Papier 16, 7, 272 (July, 1962)
- 8) 蓮沼 ; 表面あらさに関するシンポジウム (昭 40. 2)
- 9) A. A. Robertson ; P.P.M.C. 54, 4, 119 (March 1956)