抄紙機ヘッドボックスの性能改善について

—繊維懸濁液の流動特性—

日立造船株式会社 清水 徹, 横川 明, 鈴木 基光

On the Improvement of Papermaking Machine Headboxes

—Characteristics of Pulp Suspension Flow—

Tooru Shimizu, Akira Yokogawa and Motomitsu Suzuki

Hitachi Zosen Corp.

The purpose of this study was to obtain information that would help to improve the quality of paper produced by papermaking machines. Irregularities in fiber concentration in the flow of pulp suspension, and turbulence intensity, were measured in a duct, at the inlet of which various types of turbulence generators were installed. The turbulence intensity of the suspension flow was measured by two small pressure transducers. Irregularities in concentration were measured by fluctuations in the intensity of light transmitted through the pulp suspension in the duct section. The results show that irregularities in concentration are inversely related to turbulence intensity. It was also found that there is a time delay in the changes of concentration due to turbulence variations. It is believed that the results of this study will provide useful information for the development of improved papermaking machine headboxes.

Keywords: Flow measurement, Pulp suspension, Turbulence, Flocculation, Impact probe, Papermaking machine, Headbox

1. 緒 言

ニューメディア時代の到来に伴い、複写用紙や軽量紙などの機能性の高い紙が求められると共に紙品質に対するユーザの要求はますますきびしくなっている。機械メーカーとしても抄紙機の性能向上と紙質の改善に取り組んでいるが、著者らは製紙原料である繊維懸濁液のヘッドボックスにおける挙動が基本的な紙品質を決定する要素になると考え、この流動特性について研究を行ってきた¹⁾ので以下にその結果の概要について報告する。

2. ヘッドボックスの条件

紙の製造プロセスにおいて地合を決定するのは抄紙過程であるといわれている。地合は紙の美観、手触り、

印刷適性、強度などとも関連しており、紙質の良し悪しを端的に表わすものである。最近抄紙機が高速化され、ヘッドボックスから噴出した繊維懸濁液（以下パルプ液という）は極めて短い時間の内に脱水されて紙層形成されるようになってきた。このため、ヘッドボックス内でのパルプ液の濃度不均一性や噴流の状態が紙の地合に大きく影響することになる。図1はヘッドボックスモデルの噴流の状態をストロボ照明によって撮影した結果である。それぞれのモデルの流路形状の差異によって噴流の様子が異なっていることがわかる。このようなヘッドボックス噴流は噴流内部の流れの乱れ、繊維濃度分布の不均一性、表面の波立ちなどによって特徴づけられる。このうち噴流表面の波立ち（噴流厚さ）については図1からわかるようにヘッドボックス出口から離れるに従ってその変動が増大して

(a) 粗い表面

(b) 滑らかな表面

図1 ヘッドボックスモデルの噴流状態

図2 ヘッドボックス噴流

いる。このためヘッドボックス噴流はできるだけすみやかにワイヤに乗せ、脱水と紙層形成が行われる必要がある。ヘッドボックス出口におけるパルプ液の流動条件について、著者らは以下のような簡単な考察を行った。

図2に示すようなヘッドボックス噴流の流れ方向断面において、繊維の紙厚方向平均濃度を $C_J(\text{kg/m}^3)$ 、液厚さを $H_J(\text{m})$ 、液厚方向平均流速を $U_J(\text{m/s})$ 、網の走行速度を $V(\text{m/s})$ とすると、噴流面の単位面積当たり繊維質量 $W(\text{kg/m}^2)$ は次式で与えられる。

$$W = C_J H_J U_J / V \quad \dots\dots(1)$$

V を除くそれぞれは時間平均値 $\bar{W}$, $\bar{C}_J$, $\bar{H}_J$, $\bar{U}_J$ 及び時間変動値 w , c_J , h_J , u_J に分けられるので、

$$W + w = (\bar{C}_J + c_J)(\bar{H}_J + h_J)(\bar{U}_J + u_J)/V \quad \dots\dots(2)$$

となる。(2)式を2乗して時間平均をとると、

$$\begin{aligned} \bar{W}^2 + \overline{w^2} = & \frac{C_J^2 H_J^2 U_J^2}{V^2} \left(1 + \frac{c_J^2}{C_J^2} + \frac{h_J^2}{H_J^2} + \frac{u_J^2}{U_J^2} \right. \\ & \left. + \frac{4c_J h_J}{C_J H_J} + \frac{4h_J u_J}{H_J U_J} + \frac{4c_J u_J}{C_J U_J} \right) \quad \dots\dots(3) \end{aligned}$$

が導かれる。ただしここでは変動量の3次以上の項を無視している。もし変動量が無相関であるならば、上式は次のようになる。

$$\left(\frac{w^2}{W} \right) = \left(\frac{c_J^2}{C_J^2} \right) + \left(\frac{h_J^2}{H_J^2} \right) + \left(\frac{u_J^2}{U_J^2} \right) \quad \dots\dots(4)$$

すなわち、噴流面の繊維重量の変動係数は、繊維濃度、噴流厚さ、流速のそれぞれの変動係数の2乗和で表わされる。ここでヘッドボックス噴流面での繊維分布が短時間の脱水、紙層形成過程で変化しないと仮定すれば、(1)式の左辺は抄紙された紙面の繊維配列状態（すなわち定量化された地合）とみなされる。従って、紙の地合を良くするためには(4)式の3つの変動係数をすべて小さくすることが必要条件になる。ところがこれらの変動係数はいずれもヘッドボックス内での流れの乱れに関係しており、一般に乱れが大きい場合には(4)式の右辺第1項は小さくなり、第2項、第3項はそれぞれ大きくなる傾向がある。このように濃度変動と噴流厚さの変動及び流速変動とは乱れに対して相反する性質を持っている。

以上の検討結果から言えることは、紙の地合の向上に最も重要な $\sqrt{w^2/W}$ を小さくするには、ヘッドボックス出口において滑らかな噴流表面を保つ程度の弱い乱れ状態にあるパルプ液の濃度むらをいかに小さくするかという課題を解決することであり、このためにはパルプ液の流動特性についてより詳しく知る必要がある。

従来のパルプ液の流動特性の研究からは、一般に流速が低い場合や濃度が高い場合に濃度むらが著しく大きくなることが知られており²⁾³⁾、管摩擦損失や、管内速度分布などの測定結果についても報告されてい

る⁴⁾⁵⁾。また、濃度変動の測定⁶⁾⁷⁾のほか、流れの乱れ強さについて繊維濃度が低い場合の結果が報告されている⁸⁾⁹⁾。しかし乱れ強さと濃度変動との関係などの定量的検討は著者らの知る範囲ではまだ報告されていない。そこで本研究では、ダクト内を流れるパルプ液の乱れ強さと濃度変動とを測定して両者の関係を定量的に明らかにし、これにもとづいてヘッドボックスの性能改善の方向を検討した。

3. 実験装置

図3に流動実験装置の概略を示す。水またはパルプ液は、ミキシングタンクからポンプでヘッドタンクへ送られ、管路を経て測定部を通過し循環する。測定部での平均流速は、ミキシングタンク手前に設けた電磁流量計から求めた。またヘッドタンクにはオーバー

図3 実験装置

図4 測定部流路

表1 測定部入口形状

Name	Diffuser	Orifice		Straight
Symbol	D30° 10	O 10	O 15	S
Figure of X-Y Section				
B = 20mm				

フロー用のせきを設けて液面位を一定に保った。測定部の流路寸法を図4に示す。測定流路は幅 100 mm、厚さ 20 mm の長方形断面をもつ長さ 750 mm の透明アクリル製ダクトである。上流側のアプローチ配管は、測定部に流入する流れの乱れを小さく保つために断面積を大きくとり、滑らかに絞って接続している。座標系は、図中に示すように測定流路入口断面の中心を原点として流れ方向にX、厚さ方向にY、幅方向にZをとった。表1にこの実験に用いた4種類の測定部入口付近の断面形状を示す。絞り部から滑らかにダクト流れに移行するストレート型(Sで示す)のほか、乱れ発生要素として絞り比が15/20および10/20の二次元オリフィス板(それぞれO—15、O—10で示す)、開き角30°の二次元ディフューザブロック(D30°—10で示す)をそれぞれ挿入して測定を行った。

使用したパルプ液はクラフトパルプの0.44%懸濁液である。これは実際の抄紙過程で使用されているパルプ液の濃度に近いものである。また、この濃度のパルプ液で管路圧力損失を測定した結果では、約1 m/s以下の流速で水よりもはるかに高い損失をしめすが、高い流速側では水よりも損失が小さくなるなどの、ニュートン流体とは異なる流動特性を示している。

4. 流速と乱れ強さ

4.1 測定方法

パルプ液の流れの中にピート管や熱膜流速計などのセンサを挿入すると、その先端に繊維の付着・堆積を生じるため、濃度が非常に低い場合でも流速の測定は困難である。また非接触測定が可能なレーザ・ドップラ流速計などでも希薄な濃度での測定例¹⁰⁾¹¹⁾はあるが、濃度が高くなると繊維による光散乱のためSN比が低下するなどの問題点がある。

ここでは、より簡便な方法として流れの全圧と静圧をそれぞれ別個に計測し、両者の信号の差から平均流速と変動流速とを推定することにした。計測方法を図

図5 流速および乱れ強さの測定方法

5に示す。全圧プローブには直径3mmの超小型圧力変換器（共和電業製）をセンサとして用いた。これをステンレス管の先端に取付け、さらにこの部分への繊維の付着・堆積を防止するため直径6mmの円筒を取付けた。このプローブをパルプ液流れに対向させた場合、先端部には流れのよどみ点が発生しこれが流れの乱れに伴い変動する。圧力変換器はこのよどみ点の変動をとらえると共に、繊維の付着・堆積からも免れることができる。また静圧の計測は、同じ形の圧力変換器を全圧プローブの受圧面と同じXの位置の測定部壁面に取付けて行った。静圧変動を無視できる場合に全圧プローブのみで流速変動を測定する例⁽¹²⁾⁽¹³⁾はあるが、2本のプローブを用いる場合にはつぎのことを検討する必要がある。いま全圧プローブ受圧面の流れの動圧を P_D 、静圧を P_S 、全圧プローブ指示値を P_T 、静圧プローブ指示値を P_{Sw} とすると、両プローブの指示値の差は、

$$\begin{aligned} P_T - P_{Sw} &= P_D + P_S - P_{Sw} \\ &= (\rho/2)(U+u)^2 + (\bar{P}_S - \bar{P}_{Sw}) \\ &\quad + (P_{sh} - P_{shw}) + (P_s - P_{sw}) \cdots \cdots (5) \end{aligned}$$

で表わされる。ここで右辺の各項は

- $\bar{U}$: 時間平均流速
- u : 時間変動流速
- $\bar{P}_S, \bar{P}_{Sw}$: それぞれのプローブによって測定した時間平均静圧
- P_{sh}, P_{shw} : それぞれのプローブによって測定した時間変動静圧のうち、ヘッドタンクの液面変動に起因する変動
- P_s, P_{sw} : 同じく測定時間静圧のうち、 P_{sh}, P_{shw} を除く分

ρ : パルプ液の密度

である。(5)式の右辺第2、3項はいずれも零とみなすことができるので、差動アンプの出力指示値は次式で表わされる関係になっている。

$$P_T - P_{Sw} = (\rho/2)(U+u)^2 + (P_s - P_{sw}) \cdots \cdots (6)$$

すなわち、全圧プローブと静圧プローブの指示値の差は、流れの動圧にそれぞれのプローブにおける流れに基づく静圧変動の差が加わっている。(6)式第2項が両プローブの出力差に比べて小さいと仮定すれば、この場合の流速は次のように近似できる。

$$\begin{aligned} U+u &= \sqrt{\frac{P_T - P_{Sw}}{\rho/2}} \times \sqrt{1 - \frac{P_s - P_{sw}}{P_T - P_{Sw}}} \\ &\doteq \sqrt{\frac{P_T - P_{Sw}}{\rho/2}} \cdots \cdots (7) \end{aligned}$$

図6は両プローブの出力波形をオシロスコープで観察したものである。横軸は時間軸であり、縦軸は大気圧を基準として、流れが静止しているときの圧力を100%にとっている。それぞれ、図の上の波形が全圧プローブの出力であり下の波形が静圧プローブの出力である。100%のレベルに対する全圧プローブの出力の差が流動損失に、両プローブの出力差が動圧水頭の近似値にそれぞれ対応している。流れの乱れが比較的弱いと推定されるS型では全圧と静圧の測定波形はほぼ一致している。従ってこの場合にはヘッドタンクの

図6 圧力変換プローブの出力

液面変動にもとづく静圧変動が支配的で動圧の変動値は小さい。一方、O—10型では静圧の変動に比べて全圧の変動が大きく、その波形も異なっている。この場合にはヘッドタンクの液面変動の他に動圧の大きな変動を含んでいることを示している。以上の検討結果にもとづいて、差動アンプによって得られる P_r と P_{sw} との差に相当する出力を、開平アンプを通して全圧プローブの受圧面での流速の近似値に変換した。これより時間平均値 $\bar{U}$ と時間変動値の標準偏差 u' を求め、乱れ強さを $u'/\bar{U}$ と定義して用いた。図7に圧力変換プローブと熱膜流速計のそれぞれによって測定した水

図7 測定乱れ強さの比較

の流れの変動を周波数分析して比較した結果を示す。圧力変換プローブで測定した乱れ強さは、熱膜流速計による結果に比べて高い周波数でのレベルに差があるが、低周波域での差は小さい。従って、圧力変換プローブによる方法は高い周波数での感度特性は劣っているが、ほぼ流れの乱れに相当する変動成分をとらえているとみなしてよいと考えられる。

測定部の乱れ強さは、それぞれの入口形状の流れについて $Y=0\text{ mm}$ 、 $Z=0\text{ mm}$ の位置で $X=50\text{ mm}$ ～ 650 mm の範囲を 50 mm おきに測定した。

4.2 測定部の平均速度分布

測定断面の平均速度分布を図8に示す。縦軸は幅方向 Z の位置をとり、横軸はそれぞれの X の位置での測定最大流速 U_{max} に対する各点の平均流速の割合 U/U_{max} をとった。測定は全圧プローブを $Y=0\text{ mm}$ の位置で Z 方向にトラバースして行った。下流側に向かって壁面からの境界層の発達が見られるが、最も下流側での流速分布も $|Z| \leq 30\text{ mm}$ の範囲ではほぼ一様になっていることが確認できた。従ってこの範囲では濃度・流速ともにその平均量は幅方向に等しいと考える

図8 測定断面の平均速度分布

ことができる。これにより以下の測定は $Z=0\text{ mm}$ の位置で行い、その結果を平行平板間のパルス液流れにおける乱れ強さと濃度むらとみなしてそれぞれ調べた。

4.3 乱れ強さの測定結果

図9に測定部の断面中心における乱れ強さの流れ方向分布を示す。縦軸は乱れ強さ $u'/\bar{U}$ 、横軸は測定部

図9 乱れ強さの流れ方向分布

の流れ方向距離 X を流路厚さ B で割った無次元化距離である。オリフィスやディフューザなどの乱れ発生要素は $X/B=0$ の位置に取りつけられている。

S型を除いてはいずれも入口から乱れ強さが増大し、 $X/B=5\sim7.5$ の間に極大値が存在するが、さらに下流側では一様に減衰している。乱れ強さの極大値が最も大きくなるのは $D30^\circ-10$ 型で、O—10型がこれに次いでいるが、下流側での減衰の様子は両者ともほとんど差がない。O—15型での極大値は前二者にくらべてさほど大きくはなく、その減衰も緩やかである。十分に下流側の位置では、いずれの測定結果もほぼ同じ乱れ強さの値に近づいていくように思われる。この漸近値は、十分に発達した平行平板間流れの乱れ強さに

図 10 水とパルプ液の乱れ強さの比較

等しいと考えられる。図 9 に示したのは $U_m=3\text{ m/s}$ の結果であるが U_m がほぼ 1 m/s 以上では u'/U の値はいずれも流速によらず一定であった。

図 10 に S 型と O-10 型で水とパルプ液を流した場合の乱れ強さを比較して示す。縦軸は u'/U を対数でとり、横軸は X/B である。O-10 型のような測定部入口に設けたオリフィスなどによって生じた強い乱れの場合には、この濃度のパルプ液と水との乱れ強さに明らかな違いはないようである。一方、S 型の場合には両者は大きく異なり、水での乱れ強さが比較的上流側から増大し始めるのに対して、パルプ液では $X/B \sim 25$ より下流側で増大している。このように、断面の速度分布や壁面からの乱れが発達過程にある場合にはパルプ液流れの乱れは抑えられる傾向にある。

5. 濃度むら

5.1 測定方法

図 11 に測定部のパルプ液流れをストロボ透過光で撮影した結果を示す。写真の暗い部分が繊維濃度の高いブロックによる影であり、その濃淡や分布の状態は流速や上流側の乱れ発生要素の有無によって異なっているのがわかる。本研究で扱った濃度むらとは、透過側の微小領域における光の強さを測定して調べたものである。従って、この方法はパルプ液流れにおける液厚方向の平均的な濃度の時間変動を測定している。図 12 にその方法を示す。レーザ光を測定部厚さ方向に入射させ、20 mm の厚さのパルプ液層で散乱減衰した光の強さを壁面に埋めこんだフォトセルで検出する。

S, $U_m=3\text{ m/s}$ S, $U_m=0.5\text{ m/s}$ O-10, $U_m=3\text{ m/s}$
 $(300\text{ mm} \leq X \leq 460\text{ mm})$
 $(-50\text{ mm} \leq Z \leq 50\text{ mm})$

図 11 パルプ液の流れ状態

図 12 濃度むらの測定方法

図 13 フォトセル出力電圧

装置内で循環するパルプ液の平均重量濃度 C_m を変化させてフォトセルの出力電圧を調べた結果を図 13 に示す。希薄な濃度ではパルプ液の吸光性が支配的で、

図14 濃度計検定結果

図15 測定濃度信号

ランベルト・ビーアの法則が成り立つが、濃度が高くなるに従って繊維の光散乱性の影響が大きくなり、 $C_m=0.1\sim0.5\%$ の濃度範囲では濃度と透過光の強さは指数関係を示すことがわかった。この結果フォトセルの出力を指数回路を通すことによって上記濃度範囲での平均濃度と出力の関係を図14に示すように直線化することができた。検出器や回路の応答性は十分に早いものを選んで使用した。測定濃度信号は、前述したようにパルプ液の厚さ方向断面の平均濃度 $\bar{C}_Y(\%)$ であり、流速信号と同様に時間平均値 $\bar{C}_Y$ と時間変動値 c_Y とに分けられる。図15にこの時間変動濃度信号を示す。濃度むらはこれの標準偏差 c_Y' を求めて、変動係数 $c_Y'/\bar{C}_Y$ で定義して用いた。測定はそれぞれの測定部入口形状の流れについて、 $Z=0\text{ mm}$ の位置でX方向に $100\text{ mm}\sim40\text{ mm}$ おきに行った。

5.2 濃度むらの測定結果

図16に濃度むら測定値の流れ方向分布を示す。縦

図16 濃度むらの流れ方向分布

軸は測定濃度むら $c_Y'/\bar{C}_Y$ 、横軸は X/B である。図はそれぞれ $U_m=0.5\text{ m/s}$, 1 m/s , 3 m/s の場合について各入口形状での流れを比較している。濃度むらの分布は、流速や入口形状によってそれぞれ異なっている。同じ U_m の値に対してはいずれもS型での濃度むらが大きく、O—10型での値が最も小さい。また同じ入口形状について比較すると、断面平均流速が大きくなるほど濃度むらの値は小さくなっている。濃度むらの分布には流路の入口形状によって次のような差がみられる。まずO—10型やD30°—10型では測定部入口から濃度むらが急速に小さくなり、 $X/B=5\sim10$ で極小となった後に下流側に向かって再び大きくなっている。S型での濃度むらは $U_m=0.5\text{ m/s}$ の場合を除き、

上流側から下流側に向かって緩やかな減少傾向にある。O—15 型では S 型と O—15 型などとの中間的な分布状態となっている。

濃度むらの下流側での値はいずれの測定値も互いに近づいており、この傾向は U_m が大きい場合に著しい。十分下流において濃度むらがいずれも同じ値になるのか、あるいは入口形状や濃度分布の履歴の影響を受けて最終的な値が異なってくるのかは、測定流路の長さが限られているので明らかでない。また図 9 と図 16 とを比べると、濃度むらの変化する過程は流れの乱れ強さの影響を受けているとみなすことができる。これについては次節で考察する。

6. 考 察

図 17 は $U_m=1\text{ m/s}$ と 3 m/s の場合について縦軸に濃度むらをと、横軸に乱れ強さをとって流れ方向への変化を矢印で示した結果である。いずれの流速においても全体に右下がりの傾向を示しており、乱れの増大に伴う濃度むらの減少（繊維分散の進行）と、乱れの減衰に伴う濃度むらの増大（再フロック化）という関係がある。しかし図中の両者の変化をみると、乱れ強さが増大する過程と減少する過程における濃度むらの変化は、それぞれ異なった経路をたどっている。特に O—15 型では乱れ強さが増加から減少に移ったところでも依然として濃度むらの減少がみられる。このことから濃度むらは乱れ強さに対して時間の遅れを伴って変化していると考えられる。また下流側ではいずれの流れでもほぼ同じ乱れ強さと濃度むらの値に

近づいているようである。従って、流れの乱れが定常状態にある場合には、その流れに対応する濃度むらの平衡値が存在すると思われる。この場合に流れの乱れによる濃度むらの変化作用は次のようになっているものと考えられる。流れの乱れにはそのせん断力による繊維フロックの破壊作用と不均一性によるフロックの形成作用があり、上で述べた平衡濃度むらは両作用がつり合った状態であるといえる。現実の濃度むらはこのつり合いから離れた状態にあり、濃度むらの時間遅れを伴う変化量は、現実存在する濃度むらとそこでの乱れに対応する平衡濃度むらとの差に関係していると考えることができる。

本報の初めに抄紙機ヘッドボックスの噴流はその乱れ強さと濃度むらを共に小さくする必要があると述べた。濃度むらの変化の時間遅れ特性によって、乱れが弱くかつ濃度むらも小さい状態が一時的に存在することは、ヘッドボックスにおいて望ましい流動条件を実現させる可能性を示すものといえる。

このような流動条件を考えるために、乱流の性質と繊維分散作用について少し考察してみたい。ある乱流が、その波長と同じオーダーの繊維フロックに対して破壊および形成作用があることを考慮すると、繊維フロックを破壊して濃度むらを小さくするためにはより小さい波長の乱れを与える必要があるといえる。従来からのマイクロタープレンスによる繊維分散方法はこのような考え方にもとづいている。一方、乱流エネルギーの減衰は波長の短い部分での粘性消散作用とされている¹⁴⁾。したがって乱れは波長が十分小さければその減衰が早く、ヘッドボックスから噴出する噴流の安定にも寄与することになる。このときの濃度むらが十分小さければ、その時間おくれ特性によって望ましい噴流状態が実現することになる。

しかし一般に短波長域での流れの乱れは、径が大きく強固な繊維フロックの破壊に必要なだけのせん断エネルギーを持つことができない。従ってヘッドボックスの流路においては上流側で強い乱流を与えて繊維分散を進行させ、下流側では繊維分散状態を保ちながら次第に乱れが減衰しかつ波長が小さくなるような形状が望ましいと考えられる。

7. 結 言

抄紙機ヘッドボックスの性能および紙品質の改善を目的としてパルプ液流れの乱れ強さと濃度むらとに注目し、ダクト内に種々の乱れ発生要素を置いた場合の下流側での測定結果から両者の関係を調べた。その結果、次の結論が得られた。

図 17 乱れ強さと濃度むらの関係

- (1) 抄紙過剰におけるパルプ液の望ましい流動条件は、ヘッドボックス噴流での濃度むらと噴流厚さの変動とが共に小さくなることであり、これは流れの乱れ強さに対して相反する要因となっている。
- (2) パルプ液の流れの乱れ強さを圧力変換プローブによる方法で測定し、乱れ強さの大きな流れでは水での測定結果とほぼ等しくなることがわかった。
- (3) 透過光の変換によってパルプ液層の厚さ方向の平均濃度を検出し、濃度むらの状態が流速や乱れ発生要素の有無によって異なっていることがわかった。
- (4) 乱れ強さと濃度むらとの関係を調べ、濃度むらが乱れに対して負の相関を持つことを確認した。また、濃度むらの変化は時間遅れを伴っており、この時間遅れによって乱れと濃度むらが共に小さくなる場合があることが明らかになった。
- (5) ここで明らかになったパルプ液流れの性質を利用することにより、ヘッドボックスの性能改善の方向を検討した。

本稿では、地合改善の対象をヘッドボックスに限って検討してきた。これは脱水と紙層形成が行われるワイヤーパートでの地合改善の検討の重要性を否定するものではない。しかし初めに述べたように、基本的な紙品質を決定する要素はヘッドボックスにあると考える。今後は省エネルギー技術として注目されている高濃度抄紙技術に対応するため、高濃度パルプ液の流動特性について明らかにすることも重要な課題である。このため、製紙技術研究組合に参加して高濃度用ヘッドボックスの開発を進めており、さらに紙層形成方法の改善についても検討を行っている¹⁵⁾。これらについては機会を得て報告したいと考えている。

参考文献

- 1) 清水, 横川, 鈴木: 繊維懸濁液の流動特性に関する研究, 日本機械学会論文集, 50, 457号B編 (昭59), p. 2104
- 2) Robertson, A. A. and Mason, S. G.: The flow characteristics of dilute fiber suspensions, Tappi, 40, 5 (1957), p. 326
- 3) 門屋: パルプ懸濁液の挙動と紙の物性, 紙パルプ技術タイムス, 25, 4 (昭57), p. 19
- 4) Lee, F. W. and Duffy, G. G.: An analysis of the drag reducing regime of pulp suspension flow, Tappi, 59, 8 (1976), p. 119
- 5) 板谷ほか: 製紙用パルプ液の流動特性に関する研究, 日本機械学会論文集, 24, 137 (昭33), p. 16
- 6) Chung, C.: Microturbulence generation in a papermachine headbox, Proc. Tappi Eng. Conf, 13, 16 (1982), p. 205
- 7) Nerelius, L. et al: Measurement of flocculation characteristics by light reflection, Tappi, 55, 4 (1972), p. 574
- 8) Reiner, L. and Wahren, D.: The characteristics of flow from the headbox of a paper machine, Svensk Papperstidn., 74, 4 (1971), p. 225
- 9) Reiner, L. and Wahren, D.: Characteristic properties of the flow from some industrial headboxes, Svensk Papperstidn., 74, 9 (1971), p. 225
- 10) Kerekes, R. J. and Gerner, R. G.: Measurement of turbulence in pulp, J. Paper Sci., 18, 3 (1982), p. 53
- 11) 前田: レーザ・ドップラ流速計を用いた混相流の計測, 日本機械学会誌, 84, 756 (昭56), p. 1238
- 12) Murai, H. and Ihara, S.: A handy method for measuring turbulence in water by total probes, Rep. Inst. High Speed Mech., 41, 324 (1980), p. 37
- 13) Bearman, P. W.: Some measurement of the distortion of turbulence approaching a two dimensional bluff body, J. Fluid Mech., 53, 3 (1972), p. 451
- 14) 例えば谷: 流体力学の進歩 乱流, 丸善, (昭55) p. 24
- 15) 野村: 高濃度抄紙及び乾燥方式改善に関する技術的問題, 紙パ技協誌, 38, 1 (昭59), p. 111