

和紙の自動抄紙装置の開発

川島 義隆* 野村 貴徳** 稲葉 昭夫*** 本田 勝喜**

Development of Automatic Mino-Washi Machine

Yoshitaka Kawashima*, Takanori Nomura**, Akio Inaba*** and Katsuki Honda**

あらまし 近年、生活様式の変化により手すき和紙はその良さが見直され、住宅・インテリア向きへの利用が多くなり、そのため張り合わせの必要がなく、継ぎ目のないより大きな判の和紙が求められるようになってきている。しかし、手すき和紙の生産者は高齢化や後継者不足のため、過大な労力の必要な大判紙の抄紙は困難であり、そのため大判の和紙を抄紙することができる自動化装置が必要となっている。よって、本研究では大判の和紙を自動抄紙する装置を開発するために、抄紙方法に関する基礎的な実験を通して、揺動機構を中心とした装置の基本的な設計を行い、自動抄紙装置を試作した。そして、その装置により抄紙を行った結果、穴・破れはなく、大判和紙同一面内において坪量、紙厚とも均一でかつ、繊維配向の縦横比も小さい大判和紙の抄紙を行うことができた。よって、従来にない三六判の和紙を自動抄紙できるこの装置の有用性を認識することができた。

キーワード 自動化、抄紙、和紙、手すき和紙、楮、大判、三六判、揺動、抄紙装置

1. まえがき

岐阜県的美濃地方には、1300年以上の昔から連綿と受け継がれた手すき和紙の伝統技術があり、その手すき和紙は「美濃紙」としてその品質とともに全国的に認められている。しかし、大量生産できる安価な機械すき紙の利用の拡大による和紙需要の停滞や手すき和紙の生産者の高齢化やその後継者不足により、その生産は衰退傾向にある。

近年、生活様式の変化により手すき和紙はその良さが見直され、住宅・インテリア向きへ利用されることが多くなってきている。そのため、張り合わせの必要がなく、継ぎ目のないより大きな判の和紙が求められるようになってきている。しかし、手すき和紙の生産者は高齢化と後継者不足のため、過大な労力の必要な大判紙の抄紙は困難であり、そのため大判の和紙を抄紙する自動装置が必要となっている。そこで、本研究では大判の和紙（三六判、大きさ 900mm×1,800mm）を自動抄紙する装置を開発するために、その抄紙技術の検討を行い、得られた知見をもとに揺動機構を中心とした装置の基本的な設計を行う。そして、その抄紙装置により大判和紙の抄紙を行い、そ

の品質の評価を行う。

2. 自動抄紙装置の設計

2.1 基本構想

抄紙装置の基本的な構想としては以下のようなことを考慮する。

大判（三六判）の和紙が抄紙できること

機械抄紙機では抄紙が難しい繊維配向の縦横比の小さい和紙が抄紙できること

通常、機械すき紙は抄紙機の抄き網の流れの方向に繊維が配向しやすく、そのため縦方向と横方向との強度の差が大きい。それに対して、手すき和紙はその繊維配向性において縦横方向の差が小さく、そのため、その強度の差が小さいといった特徴を持つ[1]。これは抄紙の時に簀桁を前後左右に揺動させることにより、縦・横方向に均等に繊維が配向させることができるためであると考えられる。したがって、このような和紙を抄紙するためには抄紙装置は大判の大きさの抄槽を持ち、かつそれが前後左右に揺動することができる必要がある。そして、その揺動時に紙層が崩れないためには紙料液が穏やかに流れ、かつ揺動の効果を向上させるためには繊維がより配向できる必要がある。よって、抄紙方法、揺動方法及び揺動特性についての検討を行う。そして、揺動機構を含めた抄紙装置の基本的な設計を行う。

2.2 抄紙方法の検討

手すき和紙の抄紙法は大きく分けて流しずき法と溜すき法の2つに分けられる。流しずき法は化粧水、調子、払い水の3つの工程から構成され、紙料の汲み上げ・揺

* 応用担当、美濃市駐在

ApplicationDivision,Mino

** 岐阜県製品技術研究所 美濃分室

GifuPrefecturalResearchInstituteofIndustrial

Products Technology,MinoBranchLaboratory

*** 応用担当、関市駐在

ApplicationDivision,Seki

り・捨て水の動作を経て抄紙が行われる。溜ずき法は抄紙する紙が目的の坪量となる量の紙料液を箕の上ですくい上げ、そのまま水を落下させて紙層を形成する方法である[2]。手すき和紙の流しずき法の自動化研究は佐藤ら[3]が行い、良好な結果を得ている。本研究では抄紙工程・装置構造の簡素化や定量・定濃度の原料供給及び生産性の向上を考慮し、溜ずき法で抄紙を行うこととする。そして、溜ずき法において流しずき法と同様な繊維の配向性を促進させるために、抄槽を前後左右に揺動させることとする。

2.3 揺動方法の検討

抄槽の揺動の主な方法として、図1～図4のような4つの方法を挙げ、検討を行う。

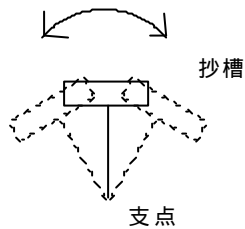


図1 抄槽下方支点揺動

Fig.1 Movement by fulcrum below box

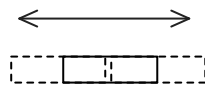


図2 抄槽水平揺動

Fig.2 Horizontal movement of making box

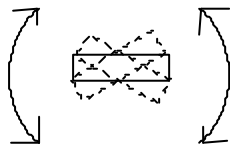


図3 抄槽中心支点揺動

Fig.3 Movement by fulcrum at center of box

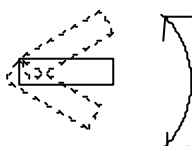


図4 抄槽片側支点揺動

Fig.4 Movement by fulcrum at one side of box

図1と図3の方式は支点の位置が上下方向において違うが、同様な動きであると考えられる。そして、図1のような下方支点で揺動できる簡易的モデルを使って容器内の溶液を揺動させた場合と図3のように手で容器を持ち中心支点で溶液を揺動させた場合を比較すると、図1の方法の場合、支点が抄槽よりかなり下にあるため、図3の方法に比べ溶液の動きが激しくなることがわかった。原料を揺動した場合より静かな流れの方が紙層を荒らさないで、その点を考慮すると図1の方法は不適切であ

るといえる。

また、図4の方式は図3の方式と支点の位置がほぼ水平方向に違うだけで基本的には同じ動きであると考えられるため、図4は図3と同一の方法とみなすことができる。したがって、図2と図3の2方式に絞り、両者について次のような実験を行う。

2.3.1 実験方法

表1に示す抄紙条件で抄紙方法の違う3種類の和紙を抄紙をし、2.3.2項の評価項目で抄紙方法の評価を行う。抄紙はすき箕を手で直接持ち、静止した状態または揺動させながら水を落下させる。なお、揺動はその効果を評価するために一方向のみの揺動とする。

表1 抄紙条件及び抄紙方法

Table 1 Condition and method of making paper

| | |
|------|--|
| 原料 | 楮100% |
| 粘剤 | ホリイソノリサイト® (PEO) |
| 坪量 | 39 g/m ² |
| 大きさ | 247 mm × 275 mm |
| 抄紙方法 | 溜ずき法 揺動なし 中心支点揺動(-方向のみ) 水平揺動(-方向のみ) |

2.3.2 評価項目

(1)水の流れ

抄紙の揺動の時、紙料液はなるべく穏やかに流れた方が、紙層を荒らすことなく、質のよい和紙を抄紙することができる。そのため、目視により紙料液の流れの評価を行う。

(2)繊維配向性

ソニックシートテスター(野村商事(株) SST-250型)を使い、繊維の配向性(縦横比)を測定する。揺動は一方向しか行わないため、繊維配向性が強い方法がより繊維を配向させることができ、揺動の効果があると見なす。

(3)地合測定

紙質を評価するために、シートフォーメーションテスター((株)東洋精機製作所)により地合指数の測定を行う。地合指数は光透過率変動係数[4]を表し、数値が小さいほど、坪量の変動が少ないことを意味し、すなわち良好な地合であるといえる。

2.3.3 結果及び検討

結果を表2に示す。水平揺動方式が他の方法よりも紙料液の動きが穏やかでかつ繊維配向性を強くすることができた。一方、地合に関してはほとんど差がないことより、抄紙方法の違いよりもむしろ紙料液の中の繊維の分散状態に大きく影響すると思われる。よって、表2の結果より、揺動方式は水平移動揺動方式とした。

表 2 実験結果

Table 2 Results of experiment

| 評価項目 | 抄紙方法 (溜ずき法) | | |
|---------|-------------|-------|------|
| | 揺動なし | 中心点揺動 | 水平揺動 |
| (1)液の動き | なし | 激しい | 穏やか |
| (2)繊維配向 | 1.05 | 1.36 | 1.40 |
| (3)地合指数 | 13.4 | 13.5 | 13.7 |

2.4 揺動特性の検討

自動抄紙装置において抄紙する時の抄槽の揺動加速度とストロークを把握するため、以下のような実験を行う。実験は容器に溶液(粘剤)を入れ揺動し、溶液が静かに流れている状態の時の容器の運動の周期とストロークを測定する。そして、次のように揺動加速度を計算する。揺動の運動を等加速度・等減速度運動とみなすと、等加速度運動中の抄槽の時間 t における位置 x は以下のように求められる。

$$x = \frac{1}{2} a t^2 \quad (1)$$

ここで、a：等加速度運動中の加速度

そして、抄槽が揺動の中心にあるとき、次のような関係になる。

$$\frac{L}{2} = \frac{1}{2} a \left(\frac{T}{4} \right)^2 \quad (2)$$

ここで、L：揺動のストローク
T：揺動の周期

よって、揺動の加速度 a は以下の式で表される。

$$a = \frac{16L}{T^2} \quad (3)$$

なお、溶液の揺動状態は目視による判断のため、実験ごとの揺動状態の差により、測定した周期とストロークには誤差が含まれると考えられる。しかしながら、あくまでも、実際の抄槽がどの程度の周期、加速度及びストロークで運動するかを把握するためにこの実験を行う。

2.4.1 実験方法

(1)抄槽の大きさと揺動特性の関係

抄槽の大きさが揺動の特性にどのような影響を与えるかを検討するために、市販のコンテナ容器(3種類)に粘剤(PEO: 0.1%溶液, 深さ6cm)を入れ、水平揺動させる時の周期とストロークを測定し、揺動加速度を計算する。

(2)溶液の深さと揺動特性の関係

紙料液の深さが揺動の特性にどのように影響するかを

検討するため、深さ6cm, 9cm, 12cmと変えたときの揺動の周期とストロークを測定し、揺動加速度を計算する。

2.4.2 結果及び検討

(1)抄槽の大きさと揺動特性の関係

結果を図5に示す。抄槽の大きさが大きくなると、ストロークも大きくなるが、加速度は少なくなることがわかった。そして、大判和紙の抄紙には900mmの長さ方向で加速度1,000mm/sec²、ストローク450mm、1,800mmの長さ方向では加速度700mm/sec²、ストローク550mm程度必要であることがわかる。

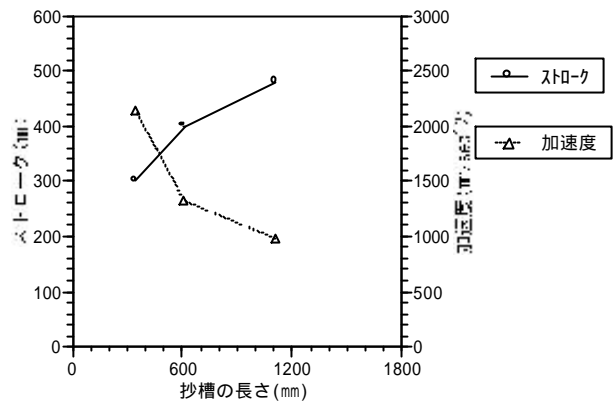


図5 抄槽の大きさと揺動特性の関係

Fig.5 Relation of case size and movement property

(2)溶液の深さと揺動特性の関係

結果を図6に示す。溶液が深くなるほど加速度、ストロークとも大きくなっていくことがわかった。また、大量の紙料液を抄槽に供給した場合、抄槽を揺動する駆動力が低いと紙料液をスムーズに流すことができない場合があることが予想される。

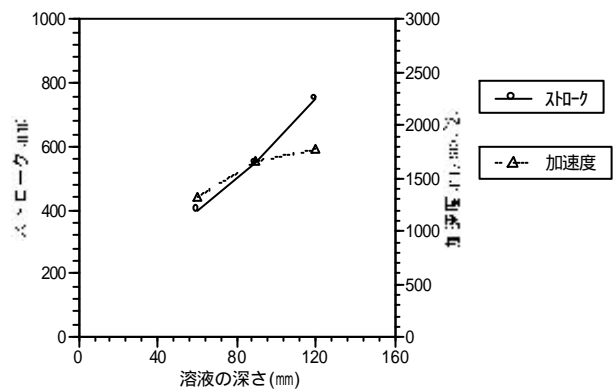


図6 溶液の深さと揺動特性の関係

Fig.6 Relation of solution depth and movement property

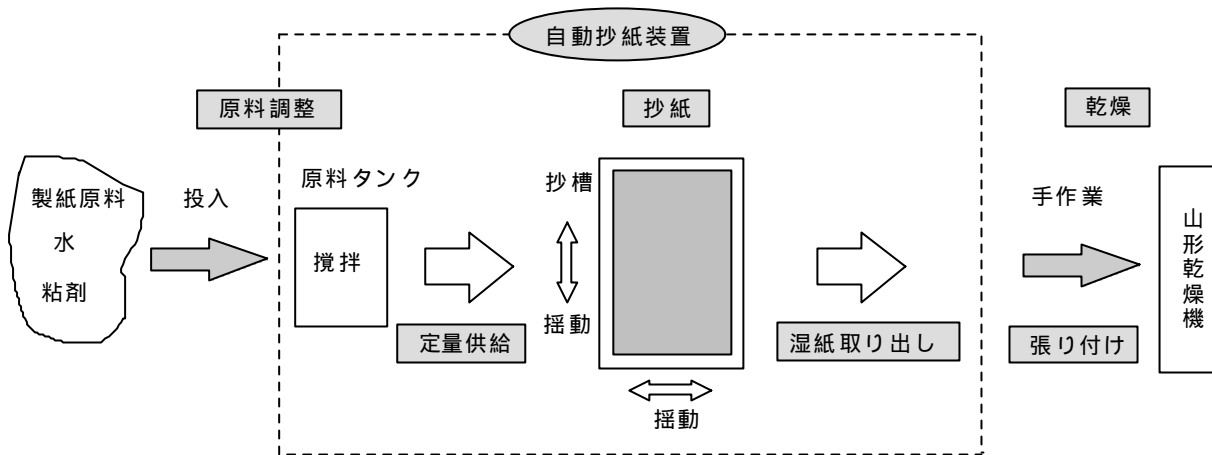


図8 自動抄紙装置を用いた抄紙工程

Fig.8 Process making big size Mino-Washi using the developed machine

3. 自動抄紙装置

3.1 構成及び外観

自動抄紙装置の外観を図7, 主な仕様を表4に示す. そして本装置を用いた抄紙工程を図8に示す.

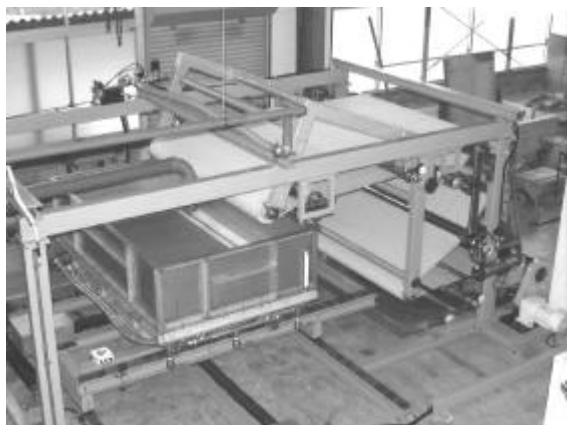


図7 自動抄紙装置

Fig.7 Automatic Mino-Washi machine

この自動抄紙装置は原料の定量供給, 抄紙, 脱水, 湿紙の取り出しを自動運転で行うことができる. そして, 乾燥は縦型固定式乾燥機(山形乾燥機, 図9)を使用し, 抄紙装置の毛布から湿紙を手でとり, 転写して乾燥させる.

本装置の特徴は抄槽が2方向に動くことができ, 抄槽内の紙料液を揺動させることができることである. 揺動の加速度, ストロークなどは制御パネルにより任意に変更することができる.

表4 自動抄紙装置の主な仕様

Table 4 Specifications of automatic Mino-Washi machine

| | |
|--------------|---|
| 装置寸法 | 約 6m × 3.5m × 3m(原料タンクを除く) |
| 抄紙装置 基本構造 | <ul style="list-style-type: none"> 原料タンク 抄紙部 湿紙移動部 脱水部 制御部 |
| 自動運転項目 | <ul style="list-style-type: none"> 抄槽への原料定量供給 抄槽揺動 脱水 抄き網洗浄 湿紙取り出し |
| 抄紙方法 | 溜抄き揺動(縦・横の2方向) |
| 抄紙速度 | 約10分/枚 |
| 抄紙可能な和紙 | 大きさ900mm × 1,800mm |



図9 乾燥機

Fig.9 Dryer

3.2 大判和紙の抄紙実験

自動抄紙装置で大判和紙の抄紙を行い、その品質の評価を行う。

3.2.1 抄紙条件

大判和紙の抄紙条件を表5に示す。

表5 大判和紙の抄紙条件

Table 5 Condition making big size Mino-Washi

| | |
|-------|---------------------|
| 原料 | 楮100 % |
| 坪量 | 74 g/m ² |
| 粘剤濃度 | 0.004 % (PEO) |
| 紙料液濃度 | 0.04 % |
| 抄紙方法 | 溜ずき揺動 |

揺動条件は紙料液が穏やかでかつスムーズに流れるような条件に設定する。その揺動条件及び揺動パターンを表6、図10に示す。ここで、表及び図中の(1)、(2)、(3)は実行する揺動パターンの順序とする。

表6 大判和紙抄紙の揺動条件

Table 6 Movement condition of box making big size Mino-Washi

| 揺動順序 | (1) | (2) | (3) |
|-----------------------------|-----|-----|-----|
| 方向 | Y | X | Y |
| ストローク (mm) | 200 | 400 | 300 |
| 最高速度 (mm/sec) | 150 | 300 | 200 |
| 加減速度 (mm/sec ²) | 400 | 300 | 400 |
| 周期 (sec) | 1.7 | 2.3 | 2.0 |
| 揺動回数 (回) | 2 | 3 | 2 |

X : 1,800mmの長さ方向, Y : 900mmの長さ方向

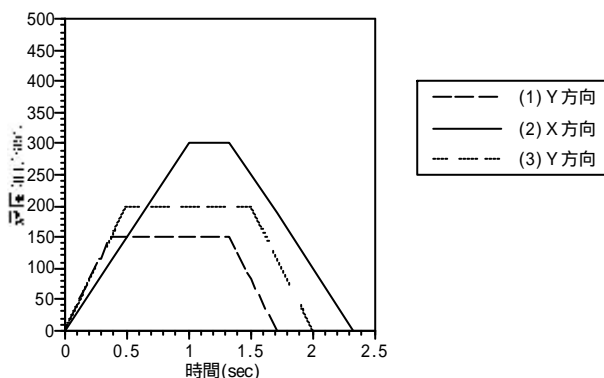


図10 揺動パターン

Fig.10 Movement pattern of box making paper

3.2.2 品質評価項目

抄紙する和紙の品質を評価するために図11のような5カ所で表7に示す評価項目について測定を行う。

大判和紙

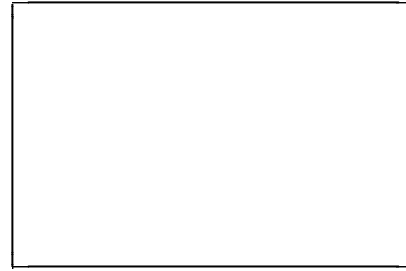


図11 大判和紙における品質評価地点

Fig.11 Points measuring quality in big size Mino-Washi

表7 評価項目

Table 7 Evaluation item

| 評価項目 | 方法 |
|---------|-------------|
| 外観など | 目視 |
| 坪量 | JIS P 8124 |
| 紙厚 | JIS P 8118 |
| 繊維配向性試験 | ゾニックシートテスター |

3.3 結果及び考察

3.3.1 外観・風合い

抄紙した和紙(図12)は破れや穴などなく、良好な状態であった。また、溜ずき法での抄紙でありながら坪量74g/m²の和紙を抄紙することができ、比較的薄い和紙の抄紙も可能であることが確認できた。

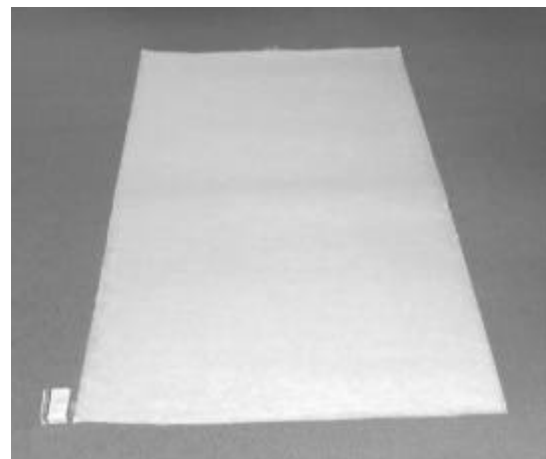


図12 大判和紙

Fig.12 Big size Mino-Washi

3.3.2 坪量・紙厚

結果を図13、表8に示す。

坪量は平均73.6g/m²、標準偏差3.1g/m²、紙厚は平均0.262mm、標準偏差0.011mmで大判和紙面内5カ所でほぼ均一

であるといえる．よって，本装置は均一な大判和紙が抄紙できることが確認できた．

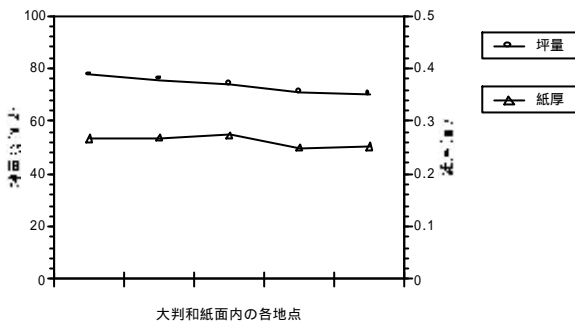


図13 大判和紙の面内各地点における坪量・紙厚
Fig.13 Basis weight and thickness of each point in big size Mino-Washi

表8 大判和紙の品質

Table 8 Quality of big size Mino-Washi

| | 平均 | 標準偏差 |
|------------------------|-------|-------|
| 坪量 (g/m ²) | 73.6 | 3.1 |
| 紙厚 (mm) | 0.262 | 0.011 |
| 繊維配向比 | 1.06 | 0.02 |

3.3.3 繊維配向性試験

結果を図14，表8に示す．

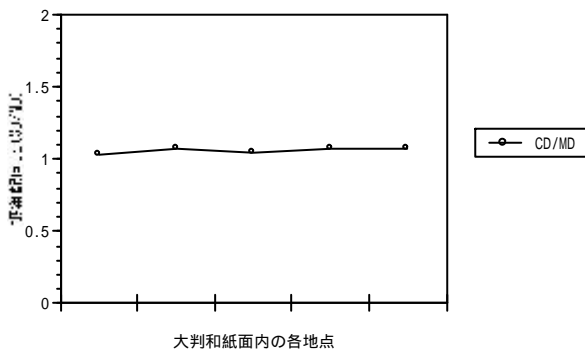


図14 大判和紙面内各地点における繊維配向性の縦横比
Fig.14 MD/CD rate of fiber orientation at each point in big size Mino-Washi

繊維配向の縦横比は平均1.06（縦方向：900mmの長さ方向），標準偏差0.02で，縦横比が非常に小さく，かつ大判和紙面内5カ所においてほとんど差がないことがわか

った．よって，機械すき紙ではその縦横比は2前後であること[1]を考えると，本装置では機械すき紙にはない縦横比が小さい特徴を持ち，かつ均一な和紙が抄紙できることがわかった．

4. まとめ

大判の和紙（三六判，大きさ 900mm×1,800mm）を自動抄紙する装置を開発するために，抄紙方法に関する基礎的な実験を通して，揺動機構を中心とした装置の基本的な設計を行い，次のような抄紙装置を開発した．

- (1)原料供給から湿紙取り出しまでの自動運転が可能
- (2)抄槽の揺動が可能（縦・横の2方向）
- (3)大きさ900mm×1,800mmの和紙の抄紙が可能
- (4)抄紙速度は約10分/枚程度

この抄紙装置により大判和紙の抄紙及びその品質の評価を行った結果，次のような知見を得た．

- (1)和紙は破れや穴等がなく良好な状態であり，その品質（坪量，紙厚，繊維配向性）は和紙同一面内5カ所において測定した結果，ほとんど差はないことがわかった．
- (2)繊維配向の縦方向と横方向の比は1に近い値であり，手すき和紙の特徴である縦横比が小さい特徴を持つことがわかった．

以上より，この抄紙装置は機械すき紙にはない縦横比が小さいという特徴を持ちかつ三六判という大きさの和紙にも関わらずその面内において品質の均一性を持つ大判和紙を抄紙することが可能であることがわかった．したがって，この自動抄紙装置の原料供給から湿紙取り出しまでの工程の自動化，大判和紙の品質及びその付加価値性を考慮すると，非常に有用性があることを認識することができた．

謝辞 本研究を実施するにあたり，自動抄紙装置の製作をして頂いた（株）鈴木製機所並びに関係者の方々に深く感謝の意を表します．

文献

- [1]佐藤幸泰，馬目孝，篠田能典，"美濃和紙の製品企画に関する研究"，岐阜県紙業試験場研究報告，pp7-11，1989
- [2]小路位三郎，帯川安彦，高橋邦夫，"和紙の抄造・板紙の抄造"，pp72-84，紙パルプ技術協会編，1968
- [3]佐藤幸泰，馬目孝，篠田能典，"美濃和紙の製品企画に関する研究（第3報）"，岐阜県紙業試験場研究報告，pp 5-9，1991
- [4]竹内信夫，"シートフォーメーションと紙の地合分析"，pp30-35，紙パルプ技術タイムズ，1985