

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 5 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420127

研究課題名(和文) ディフューザ型流路を用いた高濃度パルプ繊維の分散促進と最適化

研究課題名(英文) Application of divergent channels to inducing and optimizing fiber dispersion in flowing high-consistency pulp-suspension

研究代表者

角田 勝 (SUMIDA, Masaru)

近畿大学・工学部・教授

研究者番号：60113403

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では報告者が開発したパルプ繊維濃度評価技術や流れ中の繊維挙動に関する知見から、ディフューザ型流路を用いて高濃度パルプ繊維の分散を促進してその制御を図るとともに、ヘッドボックス内流路の最適化を探求した。とりわけ、パルプ繊維濃度の平均および変動分布や濃度むらの度合いの管軸方向変化を求め、これらに及ぼす供試パルプ液濃度と流路の広がり角の影響を明らかにした。

その結果、高濃度パルプ繊維の分散制御を図る課題点を見いだすとともに、抄紙機ヘッドボックスの改善に繋がる学術的資料を作成した。

研究成果の概要(英文)：This study explored the feasibility of improving the hydraulic headbox of papermaking machines by studying the flow of wood-pulp suspensions in diffuser passages. Pulp fiber concentrations were investigated by flow visualization and optical measurement, the method of which has been developed by the author. Changes in the time-averaged and fluctuation of the fiber concentration along the flow direction were examined. The effects of the working pulp-suspension concentration and the divergence angle of the diffusers on them were investigated systematically. In addition, a discussion was given for the degree of uniformity of the fiber-concentration distribution along the diffuser axis.

The basic findings obtained from this study are expected to contribute to improving and optimizing headbox of the papermaking machines.

研究分野：工学

キーワード：紙・パルプ ディフューザ型流路 パルプ繊維濃度 ヘッドボックス 繊維分散

1. 研究開始当初の背景

(1) パルプ繊維を含む懸濁液から水分を除去して紙を製造する抄紙機は、ヘッドボックス内の流れ(図1)が極めて重要である。そのため、抄紙機業界ではこれまでも抄紙性能の向上を目指して様々な形で改善が試行されている。しかしながら、ヘッドボックス内流れはもとより、基本的な流路形状での流れ特性は不明で、主要な研究課題となっている。

(2) パルプ液は一般に流速が低い場合や濃度が高い場合、繊維が絡み合っ塊状(フロック)となり、濃度の局所的なむらが大きくなって流れ中の繊維濃度は不均一になる性質がある。このようなパルプ液流れの流動特性を調査することは大変難しく、これを扱った研究報告は極めて少ない。

(3) 大電力を消費する製紙業界では、東北の大震災と原発問題もあって省エネルギー開発が最重要課題になっている。そのためには、パルプ液の流れ特性の解明と、1%を超える高濃度パルプ液中でも繊維分散が可能となるヘッドボックス流路についての技術開発が急務となっている。

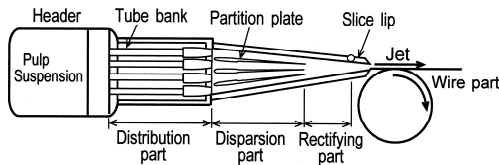


図1. ヘッドボックス

2. 研究の目的

(1) 図2に示すようなディフューザ型流路を用いて高濃度パルプ液の分散を促進する方法について実験的研究を行い、ディフューザ型流路内でのパルプ繊維挙動や濃度分布が流路の広がり角 θ やその拡大比 m 、さらには流量 Q の増加に伴っていかに変化するかを調べる。

(2) 高濃度パルプ繊維の分散が促進される最適な広がり角 θ と最小の拡大比 m を求め、供試パルプ液濃度 C_s との関係性を明らかにする。

(3) 一方、分散された高濃度パルプ液流れについては、再フロック化を抑制しながら速やかに整流させる必要がある。この最終的な課題については、ディフューザ型流路下流部を適切な縮小流路とすることで、そのパルプ繊維濃度の管軸方向変化や濃度むらの度合いを調査して解決策を模索し、抄紙機ヘッドボ

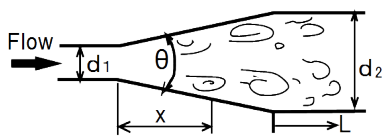


図2. ディフューザ型流路

ックスの最適化を諮る学術的資料を作成する。

3. 研究の方法

(1) 研究方法の概要

下図(図3)のような計画(平成26~28年度の3年間)に基づいて研究を実施した。

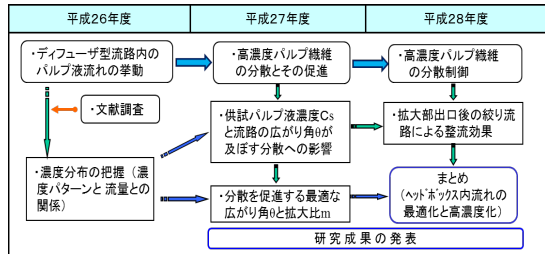


図3. 研究方法の概要(当初計画)

(2) 研究方法(各実施年度について)

初年度の平成26年度には文献調査を行いつつ、実機のハイドロリック型ヘッドボックスの形状を参考に、広がり角 $\theta = 12^\circ$ の透明アクリル製ディフューザ型試験流路を製作した。ついで、単相水流の場合について速度分布や乱れ強さの分布、ならびに圧力分布に関する基本的な流れ場情報を取得した。これらの情報を基に、広範なパルプ液濃度および流速における圧力分布を求めるとともに、比較的低濃度でのパルプ液における濃度分布を調査した(図4参照)。

初年度に調査した広がり角 θ が 12° に続いて、実機のハイドロリック型ヘッドボックスの形状を参考に、さらに $\theta = 16^\circ$ の透明アクリル製ディフューザ型試験流路を製作し、パルプ液流れの特性を可視化観察した。また、高濃度使用($C_s \approx 1.0\%$)に繋がるディフューザとして $\theta = 24^\circ$ の試験流路についても試行し、パルプ繊維分散を促進するディフューザの最適形状を探索した。

平成27年度後期から平成28年度(最終年度)初期には入り口内径が小さい12mmのディフューザ型流路(広がり角 $\theta = 12^\circ$)についてパルプ液流れ特性を調査した。つづいて、流路断面を縮小した絞り流路を取り付けた場合について繊維分散の状況と濃度むらの流れ方向変化を調査した。

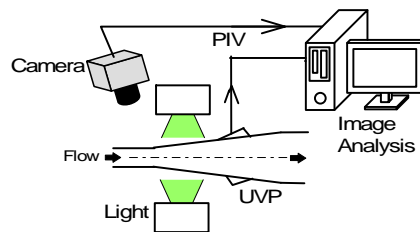


図4. パルプ繊維分散制御流路の開発試験装置

以上の濃度・流れ場情報から、高濃度パルプ液の分散促進とその制御を図る資料を作成した。

4. 研究成果

(1) ディフューザ内パルプ液流れの圧力分布について

ディフューザ内の圧力分布は流入流速 U_a やパルプ液濃度 C_s によって大きく異なり、単相水流の場合よりかなり複雑な様相を呈する。とりわけ、ディフューザ入り口の上流部でのパルプ液の流れパターン(角田・藤本、2010)に強く依存する。

ディフューザ出口での圧力回復は層流の場合、流速が低いほど、また濃度が低いほど大きくなるが、流れが乱流化すると濃度による差は小さくなり低い無次元値を示す(図5)。

さらに、ディフューザ出口以降における圧力の最大回復位置は、濃度が高いほど出口断面に近くなる。

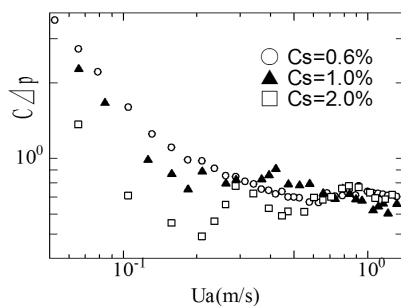


図5. 無次元圧力上昇($d_f=22$ mm)

(2) ディフューザ内パルプ液流れの概況

ディフューザ型流路内のパルプ液の濃度分布特性については、流れの可視化観察から広がり角度 および入り口と出口部の面積比 m はもとより、ディフューザの上流直管部内径にもかなり依存していることが分かった。また、広がり角度が 16° と大きくなると急拡大流路で見られた再フロッキングが比較的高い流速でも生じるようになり、高濃度パルプ繊維の分散促進を図る上では、逆効果となりうることも見出した。さらに、ディフューザの面積比 m については、8 を超えるとディフューザ内での流速減少が大きくなって、後半部で大規模渦にパルプ繊維が巻き込まれてフロッキングが大サイズ化してしまうことが見受けられた。

(3) ディフューザ内パルプ液の濃度分布

上述の基礎的知見から、 $\theta=12^\circ$ 、 $m=6.25$ なるディフューザ型流路内における濃度分布に及ぼす流入流速の影響について主体的に検討し、以下のような知見(図6)を得た。

低流速の場合、パルプ繊維のフロッキングは

ディフューザ内全体にわたって一体となったまま流下する。そのため、ディフューザ内およびその下流部では壁面寄りでは時間平均濃度 C_{ta} が減少し、濃度変動 C' は C_{ta} が大きい半径位置で高い分布形を示す。

中流速の場合、上流部で解れ始めたパルプ繊維がディフューザに流入し、パルプ繊維はディフューザ内を拡がって流下していく。一方、パルプ繊維塊同士の隙間は広がって C_{ta} は減少し、 C' の値はやや大きくなる。しかし、流速が少し増すと、中央部のパルプ繊維塊も流下するにつれて徐々に解れ、 C_{ta} の分布形状は下流直管部ではやや平坦化する。

管路内の流れが乱流化した高流速の場合、 C_{ta} の分布は平坦な形状を示し、 C' は一定の値を示す。

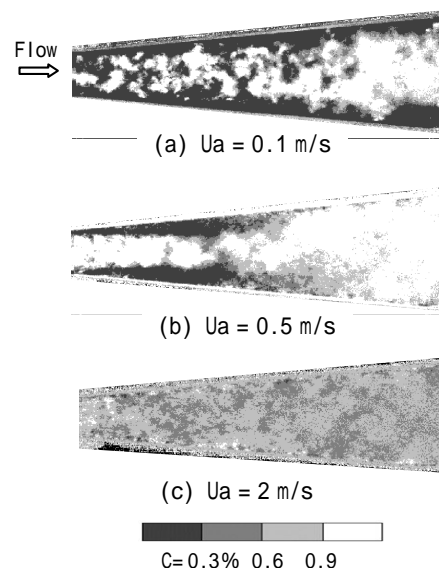


図6. 濃度分布 ($\theta=12^\circ$, $C_s=0.6\%$)

(4) 絞り付き流路における濃度分布特性について

ディフューザ内の濃度分布から求められた濃度むら の管軸方向変化は複雑で、流速と濃度によってその最小値を示す断面位置は大きく異なっている。そこで、上述した知見を発展させて、流路内に局所的な絞り設けた場合の濃度特性について研究した。その結果、濃度むらは低流速の場合低くなるが、中流速の場合絞り部出口で高くなることを見出した。

以上のように、ディフューザ型流路を用いることによって、濃度の整流(均一化と変動の低減)を十分に果たすことは難しい。今後は、流路の広がり(ディフューザ型)と縮小(狭まり)を繰り返すような加速減速流路についても、引き続き調査することが必要である。

<引用文献>

角田勝・藤本太郎、ダクト内パルプ液の
パルプ繊維濃度の測定と流れ特性、日本
機械学会論文集(B編)、76巻761号
(2010)、pp.35-41.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者に
は下線)

[雑誌論文](計4件)

角田勝・藤本太郎、ヘッドボックス流路内
パルプ液流れの繊維濃度分布、可視化情
報学会論文集、査読有、36巻12号(2016)、
pp. 55-61.
<http://doi.org/10.3154/tvsj.36.55>

角田勝・藤本太郎、分散板後流領域におけ
る製紙用パルプ液の流れ特性、混相流、
査読有、30巻3号(2016)、pp. 296-304.
<http://doi.org/10.3811/jjmf.30.296>

Masaru Sumida and Taro Fujimoto, Pulp
Liquid Flow in a Highly Simplified Model of
a Hydraulic Headbox of Papermaking
Machine, International Journal of
Conceptions on Information Technology and
Computing, 査読有, Vol. 4, Issue No. 2
(2016), pp. 13-15.

角田勝・藤本太郎、製紙用パルプ液の円管
内流動特性、日本機械学会論文集、査読
有、81巻823号(2015)。
DOI:10.1299/transjsme.14-00242

[学会発表](計11件)

角田勝・藤本太郎、抄紙機ヘッドボック
スチャンネル内のパルプ液流れ、日本機械
学会東海支部第66期総会・講演会、2017
年3月14日、静岡大学(静岡県浜松市)。

Masaru Sumida, Experimental Study of the
Fiber Dispersion of Pulp Liquid Flow in
Channels with Application to Papermaking,
18th International Conference on Fluid
Mechanics and Thermodynamics, 15th Dec.
2016, Sydney (Australia).

Masaru Sumida and Taro Fujimoto, Pulp
Suspension Flow in the Dispersion Section
of a Modeled Papermaking Machine
Headbox, 27th International Symposium on
Transport Phenomena, 23rd Sep. 2016,
Honolulu (USA).

Masaru Sumida, On the Fiber Dispersion of
Pulp Suspensions in Pipes, 4th International
Conference on Advances in Mechanics
Engineering, 21st July 2015, Madrid (Spain).

角田勝・藤本太郎、製紙用パルプ液流れ
の圧力損失と繊維分散、日本流体力学会
中国四国・九州支部総会・講演会、2015
年5月16日、九州大学伊都キャンパス(福
岡県福岡市)。

ほか6件

[その他]

ホームページ等

<http://www.hiro.kindai.ac.jp/faculty/mechanical/laboratory/index.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

角田 勝 (SUMIDA, Masaru)

近畿大学・工学部・教授

研究者番号：60113403

(2)研究分担者

なし