エアジェットルームのよこ糸加速管内流れ

——メインノズル導糸管内の強制流れの効果——

大阪市立大学工学部 深 井 完 祐 (会員)

Flow Characteristics in Weft-Acceleration Pipe of Air-Jet Loom —Effect of Forced Flow through Weft-Guide Pipe of Main Nozzle—

Sadasuke Fukai

Faculty of Engineering, Osaka City University, Osaka City

Abstract

This paper describes flow characteristics in a weft-acceleration pipe of an air-jet loom, when a pressurized flow is given to a weft-guide pipe of the model-main nozzle. The central flow (flow in the weft-guide pipe) includes not only flow naturally induced by pressurized annular flow, but also pressurized flow. Flow in the weft-acceleration pipe was measured with a hot-wire anemometer when the flow-rate ratio, M , was changed stepwise. Where, M means the ratio of flow rate of the central flow to that of annular flow of the nozzle. Reynolds number in the acceleration pipe, Re , is constant ($Re = 1.7 \times 10^4$).

The following results are obtained by this experiment :

(1) When the central flow is only naturally-induced flow, the mean-velocity-vector distribution toward downstream from the nozzle exit is biased slightly to the pipe wall. Velocity defect along an axis of the acceleration pipe increases remarkably owing to entrainment by annular flow. A point, which shows the minimum ratio of $\bar{U}_c$ to $\bar{U}_m$, moves toward upstream according to reduction of M , and the minimum value of $\bar{U}_c/\bar{U}_m$ decreases, where $\bar{U}_c$ is mean velocity along the axis of the pipe and $\bar{U}_m$ is mean velocity through a section of the pipe. Especially, when only naturally-induced flow is considered, $\bar{U}_c/\bar{U}_m$ has two extreme values at two points, x/D is 1 and 2, where x is an axial distance from the inlet of the acceleration pipe and D is diameter of the pipe. However, when $x/D \geq 4$, the values of $\bar{U}_c/\bar{U}_m$ are nearly equal at any M s and recovered slowly. And, when $x/D \geq 6$, no significant difference among velocity-vector distribution according to change of M can be found.

(2) Under any M s, the wall pressure near the exit of the nozzle goes terribly up and down along the axis of the pipe. As a result, flow is separated from nozzle-side edge of the acceleration-pipe wall. It is assumed that recirculation zone occurs along the pipe wall when $M \leq 0.76$. When M is smaller, recirculation zone becomes wider accordingly.

(3) With M being smaller, stronger turbulent flow occurs across each section of the pipe, and turbulence is dampened more slowly toward downstream.

As described above, when an appropriate nozzle-flow-rate ratio, the ratio of central-flow rate to annular-flow rate, is applied to flow of the weft-acceleration pipe, it can be found that flow, effective to acceleration of weft, is generated under the conditions such as reduced velocity defect along the axis of the pipe and dampened turbulent flow in the pipe.

The results obtained by this experiment prove indirectly that the main nozzles in serial structure, being employed recently, is useful for establishing steady-flying behaviour of weft.

(Received May 27, 1992)

(Accepted for Publication November 9, 1992)

摘 要

目的 エアジェットルームの模型メインノズル（ノズル面積比＝環状流出口面積／中心流出口面積＝0.343）の中心流（よこ糸導管内流れ）に自然吸引流のみでなく積極的に流れを与えながら、中心流と環状流との流量比 M （中心流流量／環状流流量）を変化させた場合の糸加速管内流れ（流量一定）を熱線流速計を用いて測定し、糸飛走に効果的な流れ状態について検討する。

成果 ノズル流量比 M を大きくとるに従い、(1)よこ糸加速管中心軸上の速度欠損が低減する、(2)よこ糸加速管内の流れの乱れが弱まる、など、よこ糸の加速・飛走に有効な流れの生成を認めることができた。本報で得られた結果は、最近採用されつつある多連構造のメインノズルを用いた場合のよこ糸の加速・飛走が安定していることの傍証になると思われる。

(平成4年5月27日受理)

(平成4年11月9日審査終了)

1. 緒 言

エアジェットルーム (AJL) のよこ入れは、高い挿入頻度で操作されており、その際に必要な空気量は挿入されるべきよこ糸の特性などに強く依存している。従って、最小の空気量による最適の機器調整が必要と考えられる。

近年、AJL のよこ入れ装置に関する研究は数多くなされており、A. Wahhoud¹⁾ や J. Lünenschloss^{2,3)} はよこ入れの可能性とその限界について糸飛走時間、速度、加速性能等を調べ、よこ糸挿入時間の測定および糸飛走挙動の観察等を行っている。また、吉田⁴⁾ はよこ入れ条件がノズル圧力、よこ入れ長さ、織機回転数、糸の種類、糸貯留装置等に依存することを指摘し、レーザドップラ流速計によるよこ入れ過程の糸挙動の全般的な状況について、2個（主段、副段）のメインノズルを直列に配置して検討している。しかしながら、AJL メインノズル内の流れ特性に関する研究はほとんどみられない。わずかに、岩木⁵⁾ による AJL メインノズル内部における糸張力の実験的解析や木綿^{6,7)} による AJL メインノズル、エゼクタ、ジェットポンプ、ガスバーナ等と共通する問題として外周環状噴流とその噴流によって長い円管から自然吸引される中心噴流よりなる同軸二重円管噴流に関する研究、また AJL メインノズル内の流れに直接関連するものとしては、石田⁸⁾ が変形おさ補助ノズル方式 AJL のメインノズル内流れについて圧縮性を考慮した一次元流れとして流速変化を解析しているなどが散見されるのみである。

AJL メインノズルの管外噴流領域における流れは、補助ノズルからの空気流・エアガイドの形状などとともによこ糸飛走挙動に大きく影響を与えるが、最初によこ糸を加速する糸加速管内の流れ状態も無視できない。従来のメインノズルの中心流（よ

こ糸導管路内流れ）は、環状噴流によって誘われる自然吸引流のみであった。最近では、糸飛走の安定性の向上をはかるため、メインノズルのよこ糸導管内の流れに初速を与える2連構造のメインノズルが主流になっており、超高速機には3連構造ノズルの配置がみられる⁹⁾。しかし、そのような多連構造のメインノズルを用いた場合のよこ糸加速管内の流れに対する検討はみられない。

そこで、本報では、試作した模型メインノズルの中心流に積極的に流れを与えながら、中心流と環状流との流量比を変化させた場合のよこ糸加速管内流れを熱線流速計を用いて測定し、よこ糸飛走に効果的な流れ状態について検討する。

なお、ここで用いた主な記号を以下に示す。

- D : 糸加速管内径 [m]
- M : ノズル流量比（中心流流量／環状流流量）
- R : ノズル面積比（環状流出
口面積／中心流出口面積＝0.343一定）
- Re : よこ糸加速管内レイノルズ数
($=D\bar{U}_m/\nu \approx 1.7 \times 10^4$ 一定)
- $\bar{U}$: 軸方向平均流速 [m/s]
- $\bar{U}_m$: 管断面軸方向平均流速 [m/s]
- $\bar{U}_c$: 管中心軸上平均流速 [m/s]
- k : 乱れエネルギー [J/m³]
- x : ノズル出口からの軸方向距離 [m]
- y : 管半径距離 [m]
- u, v : 軸方向および半径方向の乱れ流速成分
- u', v' : 軸方向および半径方向の乱れ流速成分

$$\text{の RMS 値} = \sqrt{u'^2}, \sqrt{v'^2}$$

- ν : 動粘度 [m²/s]
- ρ : 密度 [kg/m³]
- $-\rho \bar{uv}$: レイノルズ応力 [Pa]

- ① : Air Compressor
- ② : Air Filter
- ③ : Water Cooler
- ④ : Air Tank
- ⑤, ⑥ : Air Filter
- ⑦ : Pressure-Reducing Valve
- ⑧ : Entrnce Region of Central Flow (Flow in Weft-Guide Pipe)
- ⑨ : Yarn-Acceleration Pipe
- ⑩ : Nozzle
- ⑪ : Hot-Wire Probe
- ⑫ : Hot-Wire Anemometer
- ⑬ : Probe Carriage
- ⑭ : A/D Converter
- ⑮ : Personal Computer

Fig. 1 Schematic outline of experimental apparatus

2. 実験装置および方法

本実験で用いた実験装置の概略を図1に示す。エアコンプレッサ①で圧縮された空気はメインフィルタ②で油分を除去し、水冷式クーラ③で冷却された後にエアタンク④に蓄えられて脈動が取り除かれる。ノズルの中心流、環状流にむかう圧縮空気は、エアタンクから個別に配管されており、そのいずれもミストセパレータ⑤マイクロセパレータ⑥で不純物が濾過され、減圧弁⑦を介して流れるようになっている。実験は、中心流と環状流の合流した加速管内流量を一定 ($8.6 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$, $Re \approx 1.7 \times 10^4$) に保って行ったが、それぞれの流量を減圧弁で調節しながら、ノズル流量比 M (中心流流量 / 環状流流量) を1.0, 0.76, 0.41, 0.09の4種類に変化させて行った。なお、中心流の助走管 ($\phi 30$, 長さ1,800mm)

Fig. 2 Detail view of the model nozzle

⑧の上流入口を大気に開放して環状流のみに空気を供給する場合には、ノズル端に生じる負圧に起因して中心流が自然吸引される。この場合は、 $M=0.09$ に該当する。メインノズル⑩の詳細を図2に示す。糸加速管入口とノズル出口との管軸位置を一致させ、ノズル面積比 R (環状流出口面積 / 中心流出口面積) は0.343一定とした。ノズルと同軸に糸加速管 (内径 $D=40\text{mm}$, 長さ $L=9D=360\text{mm}$) ⑨があって、それらの管路はいずれもなめらかな黄銅製である。この試作した模型メインノズルは、実用されているメインノズルと相似ではなく、ノズル面積比 R をごく小さな一定のものとした。これは、特徴的なよこ糸加速管内流れを生成すると思われる極端な場合をまず検討しようとしたためである。中心流の流量の測定は、助走管入口下流側1,050mmの十分発達した乱流速度分布が形成される断面の管軸中心で、あらかじめ検定されたピトー管により測定した。また、糸加速管内流量は、その管出口の管軸流速を測定することにより求めた。本実験での流速測定には、定温度型熱線流速計 (Kanomax 製2チャンネル標準計測システム7213) ⑫および直径 $5\mu\text{m}$, 長さ2mm (センサ長さ1mm) タングステン線のX形熱線プローブ (Model 0252R-T5) ⑪と管壁面近傍測定用にシングルセンサ上流用プローブ (Model 0248R-T5) を用いた。熱線プローブは下流側から上流側に向かって挿入し、各断面で管中心軸から半径方向にトラバースした。その移動には読取顕微鏡⑬を

Fig. 3 Locations of flow measurements in sections along the axis of the pipe, and a symbol of the section

Table. 1 Radial locations of measurements in every sections (mm)

No. Section	Measuring range with X probe																									Measuring range with a single wire probe
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
$S_1 \sim S_4$	0	2.0	4.0	6.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	12.5	13.0	13.5	14.0	14.5	15.0	15.5	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	18.4	18.8	19.2	19.6	
S_9, S_{25}	0	2.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	14.5	15.0	15.5	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	18.4	18.8	19.2	19.6	
$S_7 \sim S_{26}$	0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	18.4	18.8	19.2	19.6	

改造して使用した。管内の流速測定断面と管半径方向測定位置を図3ならびに表1に示す。同図・表に示したように、管軸に沿って26の測定断面を設けて $S_1 \sim S_{26}$ とし、各断面ともX形熱線プローブを用いた場合には、軸方向および半径方向平均流速ならびにその乱れを21点で測定した。また、表1に示した位置で1チャンネル熱線プローブを用いたが無指向平均流速ならびにその乱れを6点で測定した。流速測定データは、熱線流速計の出力信号を2チャンネル同時サンプリングウェアメモリ型A/Dコンバータ⑭を介し、時間間隔20 μ sで3,000個のデータをサンプリングし、パーソナルコンピュータ⑮で処理した。

なお、同時に管軸に沿う管壁面圧力も各測定孔から接続されたゲッチング型マノメータにより測定

した。

3. 実験結果および考察

3.1 平均流速と壁面圧力

ノズルの流量比 M ごとの各流速測定断面($S_1 \sim S_{26}$)での平均流速ベクトル分布を、図4(a)~(d)に示す。いずれも、縦軸には無次元管半径距離 y/D を、横軸にはノズル出口からの無次元軸方向距離 x/D をとり示してある。同図中、通常ベクトル表示に用いる矢印は図の混雑を避けるため付しておらず、ノズル出口直後の断面 $S_1 \sim S_3$ における表示ベクトルが交錯するのを明確に示すために図5(a)~(d)にその拡大図を示した。いずれの M の場合もノズル出口直後の断面 $S_1 \sim S_3$ で環状流によるエントレインメン

Fig. 4 Comparison of mean-velocity-vector distribution by each flow-rate ratio in every sections

Fig. 5 Detailed view of mean-velocity vector in sections ($S_1 \sim S_3$ of Fig. 4)

トのため、中心流の流速ベクトルが管壁方向に大きく傾いている。特に、 $M=0.09$ の場合の管断面流速ベクトル分布は、その中心流が環状流に起因して生ずる負圧によって生成される流れのみであり、当然環状流の出口近傍での流速ベクトルは大きく、その断面での分布の勾配は他と比べて急峻である。この

場合の下流に向う流れは、その他の M の場合と比べて、環状流が管壁に沿う偏った流れの傾向を示し、中心流との混合を遅らせるように思われる。各断面での流速ベクトルの最小値を示す位置は、上流側から下流にいくにつれ管軸側へと移動していく。しかし、 $x/D=6$ より下流になると管断面流速ベクトル分布は、 M による差異が明確にみられなくなる。なお、図5に示した平均流速ベクトルの拡大図でノズル先端に対向する領域における流速ベクトルの大きさはごく小さく、その方向は大きく傾いているが、これはノズル先端部の肉厚を限りなく小さくすることができず、その領域 (S_1 断面まで) で環状の死水域の生成が想像される。

また、管中心軸上軸方向平均流速 $\bar{U}_c$ を管断面平均流速 $\bar{U}_m$ で除した $\bar{U}_c/\bar{U}_m$ と x/D の関係を図6に示す。同図から、 $\bar{U}_c/\bar{U}_m$ は、いずれの流量比 M においても、ノズル出口から下流に向かって急激な減速傾向がみられる。このような中心軸上で下流に向って生じる速度欠損は、 M が小さいほど大きく、かつ速度欠損が最大を示す位置は上流側に移行している。すなわち、 $M=0.09$ の場合の $\bar{U}_c/\bar{U}_m$ は、大きく減速するとともに $x/D=1.0 \sim 2.0$ で二つの極小値を示す。一方、 $M=1.00$ の場合の $\bar{U}_c/\bar{U}_m$ はノズル出口から急減の後下流に向って緩やかな降下を示し、 $x/D=2.75$ に至って最小値を示している。しかし、 $x/D=4.0$ より下流に至ると、 $\bar{U}_c/\bar{U}_m$ は M にほぼ関係なく、いずれも互いに近い値を持ちながら緩慢な回復過程に入る。

図7には、中心軸に沿った管壁面圧力分布を示す。縦軸には管壁面圧力と大気圧との差圧 ΔP をとり、横軸には x/D をとって、流量比 M ごとに示している。その分布は、いずれの M の場合も、ノズル出口至近から急激な圧力降下・上昇を示している。

Fig. 6 Axial mean velocity along the axis of the pipe

Fig. 7 Wall pressure distributions

これは 10° の傾きを持つ円錐形環状流路から噴射されるノズルの流れが直円管である糸加速管に流入する際の角部で剥離を生じるためと考えられる。 $x/D=6$ よりも下流側では、いずれも下流に向かってほぼ一定の勾配で圧力はごく緩やかに降下する。このことから、混合による流速分布の一樣化が行われる過程において圧力の降下はみられず、混合がほぼ完了しほぼ一様の流速分布を示すようになると圧力勾配が一定になると考えられる。なお、 $M=0.09$ の場合以外の管壁面圧力の推移については、特に顕著な差異がみられないが、唯一同図(d)の $M=0.09$ の場合には、ほかと同様ノズル出口至近管壁面で急峻な勾配を持つ圧力降下・上昇の後、再び $x/D=1\sim2$ での壁面圧力降下の領域がみられる。これは、前述した図6の $M=0.09$ の場合の $\bar{U}_c/\bar{U}_m$ が二つの極小値を示す領域とも一致している。このことから、ノズル出口至近管壁での流れのはく離が再付着した後、 $x/D=1\sim2$ の管壁近傍での再循環領域^(9,11)の生成が想像される。

3.2 乱れ特性

管内乱れの測定結果を図8(a), (b)に示す。縦軸には乱れエネルギー k 、乱れ強度 $u'/\bar{U}$, $v'/\bar{U}$ 、レイノルズ応力 ($-\rho uv$)、あわせて軸方向平均流速 $\bar{U}/\bar{U}_m$ を、横軸には無次元管半径距離 y/D をとり示したもので、図3に示した26断面のうち代表例として6断

面 (S_3 , S_5 , S_7 , S_{10} , S_{15} , S_{25}) を各流量比 M ごとに並べて載せた。なお、乱れエネルギーは、同時に管周方向の乱れ成分の測定を行わなかったため、乱れエネルギーとほとんど等価とみなせる $k=3/4(u'^2+v'^2)$ を用いた⁽¹²⁾。また、図の整理上 $-\rho uv$ 軸は逆符号で表してある。

同図中の k と $-\rho uv$ の分布はいずれもほぼ同じ傾向を示しており、また流速分布の勾配が最大になる点で最大値を示している。 M が小さいほど k と $-\rho uv$ の値は大きい。いずれの流量比においても、断面 S_{15} まで ($x/D \leq 3.25$) k と $-\rho uv$ の分布は平坦ではない。特に、 $M=0.09$ と $M=1.00$ の場合の値を比較すると、断面 $S_3 \sim S_{10}$ で $M=0.09$ の場合の値は倍近く値を示し、激しい混合による乱れの存在と管断面流速分布の急峻な勾配を表している。

また、軸方向乱れ強度 $u'/\bar{U}$ は、半径方向乱れ強度 $v'/\bar{U}$ よりも管内全域にわたりいくぶん強く表れている。図中、管断面ごとに乱れ強さの結果をみると、 M の小さい方が乱れ強度の最大値が大きく、乱れの領域も広く、同時に乱れ強度分布の凹凸が激しい。さらに、 M が小さいと下流に向かって乱れの減衰が遅い。

しかし、断面 S_{25} に至ると、いずれの M においても、十分発達した管内乱流においてみられるように、 $u'/\bar{U}$, $v'/\bar{U}$ および k は、ほぼ一定値を示し、さらに ρuv もほぼ0を示している。無指向性流速の乱れ成分も管壁に接近するにつれ急増する。また、軸方向平均流速分布も一様な様子を示すようになる。

なお、図8に示した無指向性流速が軸方向平均流速分布と不連続で大幅に低く表れていることおよび図7に示した管壁面圧力の軸方向変化から逆流の可能性が考えられ、 $M=0.09$ の場合には $x/D=1$ より下流の管壁面近傍で再循環領域が生じているものと推察される。また、それ以外の M の場合も ($M=1.00$ の場合を除く)、無指向性流速が軸方向平均流速より大幅に低くて流速分布が大幅に不連続な管断面がみられ、再循環領域が生成されているものと推察され、その領域は M の小さいとき広い。

4. 結 言

得られた結果を要約すると、次のとおりである。

- (1) 中心流が自然吸引の場合の管断面平均流速ベクトル分布はノズル出口から下流に向い管内壁に沿った偏った流れを呈す。その流れはエント

(a) Upstream side

(b) Downstream side

Fig. 8 Distribution of axial-mean velocity, turbulent intensity and Reynolds stress by each flow-rate ratio in typical sections of the pipe

レンメント過程によって流れの一部を失う管中心軸上での速度欠損を大きくする。その管中心軸上軸方向平均流速 $\bar{U}_0/\bar{U}_m$ の最小値を示す位置は、流量比 M の小さいほど上流側に移行し、その値も低下する。ことに、自然吸引の場合の $\bar{U}_0/\bar{U}_m$ は、 x/D が 1~2 で二つの極小値を示す。しかし、 $x/D=4$ より下流における $\bar{U}_0/\bar{U}_m$ は、いずれの M の場合も、ほぼ同じ値を持ちながら緩慢な回復を示す。また、 $x/D=6$ より下流に至ると、流速ベクトル分布には M による明確な相違が認められない。

(2) いずれの流量比 M の場合も、管軸に沿う管壁面圧力分布はノズル出口至近で急峻な勾配を持つ降下・上昇を示し、ノズル出口の管壁面角部で流れの剥離が生じる。また、 $M \leq 0.76$ で再循環領域の存在が推察され、その領域は M の小さいとき広い。

(3) 管内の乱れは、 M の小さい方が各断面において強く現われ、下流管断面に向って乱れの減衰も遅い。

なお、従来からのメインノズルは、外周の環状噴流のみが駆動流として操作され、その流れは間欠的で亜音速～超音速にも達しているようである。しかしながら、本報では、よこ糸加速管内レイノルズ数 Re とノズル面積比 R を、それぞれ $Re \approx 1.7 \times 10^4$ 、 $R=0.343$ と一定に保ち、ノズル流量比 M のみを変化させることを試みたが、 M を大きくすると速度欠

損の低減や流れの乱れが弱まるなどの効果が認められたので、 Re の高い場合でも、 M が適当であればほぼ同様の効果が期待でき、糸質を損なわずによこ糸を加速・飛走させるのに有効な作用を付与できるものと思われた。

これらのことは、最近採用されつつあるメインノズル導糸管に積極的に流れを与える 2 連、3 連構造のメインノズルを用いた場合のよこ糸加速・飛走が安定していることの傍証になると思われる。

終わりに、本実験を行うに当たり、当時本学学生吉田進二君らの協力を得た。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) A. Wahhoud ; Melliland Textilber., **64**, 257 (1983).
- 2) J. Lünenschloß, A. Wahhoud ; Melliland Textilber., **65**, 242 (1984).
- 3) J. Lünenschloß, A. Wahhoud ; Melliland Textilder., **65**, 447 (1984).
- 4) 吉田, 鈴木, 川端, 長谷川 ; 織機誌, **44**, T32 (1991).
- 5) 岩木, 喜成, 山崎 ; 織機誌, **41**, T145 (1988).
- 6) 木綿, 岡島, 長久 ; 機論, B, **55**, 3666 (1989).
- 7) 木綿, 岡島 ; 機構論, 912-17, 81 (1992).
- 8) 石田, 岡島 ; 織機誌, **44**, T69 (1991).
- 9) 寺口 ; 織学誌 (繊維と工業), **48**, 116 (1992).
- 10) N. ラジャラトナム (野村訳) ; “噴流”, p. 143, 森北出版 (1981).
- 11) M. Barchilon, R. Curtet ; Trans. ASME, J. Basic Eng., **86**, 777 (1964).
- 12) 青山, 土方, 二神 ; 機論, B, **55**, 2212 (1989).