

氏名	石田 稔
生年月日	
本籍	大阪府
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	博乙第92号
学位授与の日付	平成7年3月25日
学位授与の要件	論文博士(学位規則第4条第2項)
学位授与の題目	エアジェットルーム用メインノズル及びエアガイドの空気流動特性の研究 Study on Flow Characteristics of Main Nozzle and Air-Guide in an Air-Jet Loom.
論文審査委員	(主査) 岡島 厚 (副査) 上野久儀, 岩木信男 新宅救徳, 松平光男

学位論文要旨

Summary For the purpose of enhancing the weft insertion properties of air jet looms, the flow characteristics of the main nozzles for rendering an insertion force to the weft, and the air guides of the looms were analyzed. This paper summarizes the results.

As regards the flow characteristics of the main nozzles, flows in nozzles containing acceleration tubes having different lengths were examined in the first place. In this investigation, the flow in a main nozzle was divided into three regions, namely, "converging nozzle flow", "enlarged tube flow", and "Fanno flow", and was analyzed as one dimensional adiabatic compressible flow, based on the measurements of the static pressure distribution on the nozzle inner wall surface. The following results were obtained: the flow may reach the critical condition of Mach number of unity at one or two positions in the nozzle; the throat portions occur depending on the length of the tube and the conditions of pressure in a tank, characterizing the state of the flow in the nozzle; and the occurrence of supersonic flow and pseudo shock waves in an acceleration tube depends on the length of the tube. These items of technical information will be very available for the optimum design of main nozzles.

Then, the characteristics of a jet flow from a nozzle was examined. In this investigation, the nozzle jet flow was analyzed in relation to the flow in a nozzle which is affected by the design of the nozzle. The results are as follows; in the case that a throat portion composed of a flow with Mach number of one was caused in a nozzle outlet, the discharge jet flow exceeded the sound velocity, because of the development of the boundary layer on the inner wall surface in the acceleration tube; simultaneously the flow became unstable, resulting in the generation of expansion waves; and since then, in the downstream region, the oscillation of compression and expansion waves could be observed. It seems that the

obtained information clearly points out technical problems to be solved when main nozzles to cope with the future appearance of high speed looms are developed. Moreover, the measurements of the weft drag force of the nozzles showed that when the flow in the nozzle outlet reached the critical condition with Mach number of one, the weft insertion force was not enhanced by the increase of pressure in the tank. This provides one of technical indexes for optimum setting of tank pressure condition which is required for the realization of high speed looms.

As substantially no reports on such analyses have been found, the flow characteristics of the air guides were analyzed in comparison with free jets from nozzles to reveal the functions of the air guides. Especially, the following were found ; the axial flow velocity of an air guide can be divided into two regions, namely, one is nearly the same as the free air flow region, and the other region where the effect of the air guide on the prevention of the velocity decline becomes significant ; by its conversion to the dimensionless expression, the similarity rule becomes valid ; and the radial distribution of flow velocity in the guide is more deformed in the vicinity of the guide surface, caused by the suction flow, as the flow goes away from the guide entrance. These items of technical information are very useful for the rational design of air guides. Moreover, it was found that a part of an arbitrary air guide flow can be analogized with the flow in a slitted tube. It is thought that this provides means for shortening the development period of air guides and saving the development cost effectively.

I expect that the technical information described in this report considerably serves to enhance or improve the performance of air jet looms.

本論文は8章より構成されており、以下に、その内容について述べる。

(1) 結論

第1章においては、研究の背景や、目的、意義について述べた。

1960年代の後半に実用化されたエアジェットルームは、それまでのシャトル織機に比較して、生産性が2～4倍と高く、織布工程の合理化に大きく貢献してきた。現在、これに替わる新しい製織システムが発明されていないことから、エアジェットルームは、超合理化織機として今後とも大きな位置づけを占めるものと考えられる。ただ、現状の商用機を見る限り、高速化、広幅化、汎用化等の織機性能を発揮する面で改善の余地が充分ある。そのためには、非常に拡散しやすい空気、緯糸を如何に効率よく、遠くまで、確実に飛走させるかが最大の技術課題となる。

本研究は、このような背景から「エアジェットルームで緯糸を飛走させる機能を担うメインノズルやエアガイドの空気流動特性を解析し、織機性能向上のための基礎資料を得る」ことを目的とする。

特に、メインノズルについては、既往の研究例ではあまり見られないノズル噴流を上流側のノズル内部流れと関係づけて解析し、噴流特性を明確にするだけでなく、ノズルの最適設計に必要な技術資料を得る。さらに、織機の高速化に対応するため、吐出噴流が音速を越える場合も対象にした。一方、エアガイドについても、その流動特性がこれまでほとんど系統的に研究されたことがないことから、それを明確にしてエアガイドの機能を明らかにする。さらに、スリット円筒管を用いてエアガイド流れの類似化の可能性も併せて検討する。

第2章から第5章までにおいて、エアジェットルーム用メインノズルに関する空気流動特性について主として検討した。

(2) メインノズルの噴流特性（亜音速領域）

第2章では、メインノズルから自由大気中に噴出した亜音速流れについて基礎的な空気流動特性を検討した。各測定はノズルからの定常噴射流について行い、そのうち、流速については小形ピトー管をXYZテーブル上で移動しながらデジタルマノメータを用いて、また、流域の静圧については静圧プローブを用いて測定した。なお、空気流量については流速を積分して求めた。

その結果、①半径方向の流速分布は、ノズル出口から5d（d＝ノズル内径）までは、ニードル後流のための速度欠損が認められるが、それより下流域では流れは混合し、軸流速が最も速く半径方向へ広がるに従い減衰していく形状を示す。②ノズルから各位置の噴流の流速分布は、その位置の最高流速と半値幅で無次元化すると、7d以上の距離では、タンク圧4kgf/m²以下で相似則が成立する。③噴流半値幅は、ノズルからの距離に比例して増加する。④噴流の空気流量も、同じくノズルからの距離に比例して増加することを明らかにした。

(3) メインノズルの内部流れ特性

第3章では、メインノズルの内部流れについて基礎的な検討を行った。即ち、メインノズルの内部流れを、空気タンク部からニードル先端までを「先細流れ」、ニードル先端から加速管（内径3.0mmφ）の入口までを「拡大管流れ」、加速管入口から出口までを「ファノ流れ」の3つの領域に分類し、ノズルへの空気取入口直前に設置した空気タンク圧の条件を上流よどみ点として、各領域での流れを一次元圧縮断熱流れとして取扱い、ノズル管内の約10個の直径0.5mmの静圧測定孔による壁面静圧分布の測定結果から、各領域の流れの諸量を算出してノズル内部流れの特徴を解析した。特に、マッハ数 $M > 1$ の音速を越える流れを含め、タンク圧力やノズル加速管長が、ノズル内部流れに及ぼす影響を検討した。

その結果、①ノズル内部には、 $M = 1$ となって臨界状態を示すスロート部がニードル先端部と加速管出口の2カ所に存在する可能性がある。ノズル内部流れは、加速管長さとタンク圧により、これら2つのスロート部の臨界状態とそれに伴って発生する衝撃波の発生状態に依存して特徴づけられる。②ニードル先端が臨界状態になるタンク圧力は加速管長に依存し、加速管長が長くなるほど高い。③加速管出口が臨界状態になるタンク圧力は、加速管長にかかわらずほぼ一定で、本実験の範囲内ではほぼ4kgf/m²である。④加速管出口が臨界状態になる流れは、加速管内の流れは常に亜音速になる場合と超音速を含む場合に分けられ、加速管の短いノズルにおいて後者の例が認められる。⑤本実験の加速管長 $L = 70\text{mm}$ ノズルにおいて加速管内に衝撃波の発生が認められることを明らかにした。

(4) メインノズルの高速噴流特性

第4章では、メインノズルの高速噴流の特徴をノズル内部流れと関係付けて解析した。噴流の流速についてはピトー管を用いて測定し、特に、音速を越える場合には先端を直角に切り落とした特殊形状のピトー管を用い、ピトー管前面に発生する衝撃波を垂直衝撃波として全圧を算出した上で流速を求めた。この他、シュリーレン装置を用いて流れの可視化による解析や、緯糸飛走性の代用特性値となるノズル噴流による緯糸牽引力の測定についても歪ゲージを用いて行った。

その結果、①ノズルの噴流速度や噴流径の軸方向の変化は、加速管出口で流れがチョークするタンク圧を境にして大きく異なる。②加速管出口で流れがチョークする場合は、加速管入口から発達した壁面境界層が出口部において一種のラパール管作用を果たすため、マッハ数 $M = 1$ の流れの発生位置は、管出口により上流側にあり、管出口で $M = 1$ を越える。③加速管出口で $M = 1$ を越える場合は、吐出した流れは不安定となって出口で膨張波を発生し、それが噴流の境界面で反射され、以後圧縮波・膨張波が繰り返し発生し、下流域に流速の変動が生じる。④ノズルの緯糸牽引力はタンク圧に比例して増大するが、加速管出口に流れがチョークするとはほぼ一定になり、それ以上タンク圧を上昇させてもエネルギー効率が低下するだけであることを明らかにした。

(5) 加速管長の異なるメインノズルの高速噴流特性

第5章では、ノズル加速管長がノズル内部の流れや加速管出口でのスロートの発生状態さらには吐出噴流にどのような影響を及ぼすかを基礎的に検討した。噴流の流動特性の測定は前章と同様に行った。なお、本章では、特に、熱線風速計を用いて噴流の乱れ強さも測定した。

その結果、①亜音速領域におけるノズル噴流の軸方向、半径方向の流速分布形状は加速管長による影響はほとんど見られない。②吐出速度が音速を越える場合に差が見られ、加速管長 $L \geq 70\text{mm}$ ノズルでは膨張波が発生し、 $L = 70\text{mm}$ ノズルでは圧縮衝撃波が発生する。③このため、 $L \geq 70\text{mm}$ ノズルでは、急激な噴流径の増加やこれによる流速の低下現象が見られるが、 $L = 70\text{mm}$ ノズルでは噴流径や流速に大きな変化が生じない。④噴流径の増加する流れ程、静止空気との運動量の交換が噴流中心部まで速く到達する。⑤ノズルの緯糸牽引力は、加速管内流れの影響をより強く受け、加速管の短いノズル程牽引力が小さいことを明らかにした。

第6章、第7章では、エアジェットルーム用エアガイドの空気流動性について、詳細な検討を行った。

(6) メインノズル噴流のエアガイド内での流れ特性

第6章では、ノズルからの噴流をエアガイド内へ噴射した場合と自由大気中に噴射した場合との比較検討を行った。特に、ノズルとエアガイドの間隙を変化させながらエアガイド内の流れ方向や半径方向の流速分布、空気流量変化、壁面静圧分布等をピトー管や静圧管を用いて測定し、エアガイドの空気の流れの特徴と機能を検討した。

その結果、①エアガイドの中心軸方向の流速分布は大きく2つに分類される。即ち、自由大気流速度とほぼ同じ特性を示す領域とエアガイドの流速低下防止効果が顕在化する領域である。②エアガイドの流れ方向の空気流量変化は、壁面静圧の変化と良く対応し、静圧が正の場合に吸引され、負の場合に排出される。③エアガイド中心軸方向の流速分布は、ガイド内最高流速で無次元化すると相似になる。④エアガイド半径方向の流速分布については、ガイド入口付近ではノズル自由噴流とほぼ同一形状を示すが、入口から遠ざかるにつれてガイド壁面から外部空気が吸引されるため、壁面近傍の分布形状が変形され、さらに下流域では、ガイド特性に対応した速度分布形状を示す。⑤エアガイド特性を示す領域では、半径方向の流速分布は無次元化すると相似になることを明らかにした。

(7) スリットの有無の円筒管との比較によるエアガイド流れ特性の検討

第7章においては、エアガイド内の空気の流れを、アクリル樹脂製の円筒管流れと比較検討した。各流れ特性の測定は前章と同様に行った。特に、口径の異なる円筒管や、壁面に所定の幅のスリットを設けた円筒管を用いて、ノズル噴流が円筒管流れに変化して行く過程を明らかにするとともに、各円筒管の流れをエアガイド流れと比較することによりエアガイド流れの特徴を明らかにした。また、エアガイド流れをスリット付き円筒管流れとの類似性についても検討した。

その結果、①円筒管内の空気の流れは、壁面静圧が負となる領域では自由噴流の性質を、正圧の領域では管内流の特性を示す。②壁面静圧が負を示す領域では、ノズルからの噴流は円筒管の存在にもかかわらず、自由噴流と同様に周囲の空気を取込んで成長する。③壁面静圧が零となるノズルからの位置 (X_0) は、スリットなし円筒管では自由噴流が内壁面に衝突する位置にほぼ対応する。④従って、 X_0 の大きさは、ノズルと円筒管の間隙に依存せず、円筒管の口径に依存する。⑤任意のエアガイドのガイド軸方向の流れは、スリット付き円筒管内流で類似させることができることを明らかにした。

(8) 結論

第8章においては、本論文の要約と研究成果の工業的意義について述べた。

メインノズルの空気流動特性の研究については、

①加速管を備えた環状ノズルについて、加速管長やタンク圧を種々変更した場合の内部流れの特徴を明かにし、メインノズル設計に必要な技術資料を得た。②ノズル噴流についても、ノズル内部流れと関連づけて解析し、特に、吐出速度が音速を越える場合の噴流の不安定現象を明らかにした。③また、ノズルの緯糸飛走性の指標値となる緯糸牽引力を測定して、加速管長やタンク圧条件との関係を明かにし、ノズル開発の方向性について一つの指標を得た。

一方、エアガイドの空気流動特性の研究については、

①これまで系統的にはほとんど研究されなかったが、自由噴流と比較検討することにより、その特徴と機能を明確にすることができた。②さらに、エアガイドの流れの一部がスリット付きの円筒管の流れに近似できることを明らかにした。

以上の研究成果は、今後、エアジェットルームの性能改善と向上のための基礎資料として大いに貢献出来るものとする。

学位論文の審査結果の要旨

平成7年1月27日、第1回学位論文審査委員会を開催し、平成7年2月9日、口頭発表を行い、同日第2回審査委員会を開催した。また外国語（英語）試験を課した。協議の結果、以下の通り判定した。

研究歴と学力：申請者は京都工芸繊維大学工芸学部（機織学科）卒業後、旭化成工業(株)繊維加工研究所で約25年間の研究歴を有し、また平成元年から4年間、本学工学研究科の研究生であったこと、口述および記述試験の結果などを総合して博士課程修了者と同等、またはそれ以上の学力を有するものと判断する。

論文：申請論文は、織機の1つであるエアジェットルームの織機性能の向上と省エネルギー化のため、メインノズルの噴流及びエアガイド内の空気流動特性を研究している。まず、超音速域を含めたメインノズルの内部流れを1次元圧縮断熱流れとしてノズル内の壁面静圧分布の測定結果からノズル断面内の流速、マッハ数の分布特性を求め、空気タンク圧、ノズル加速管長による影響を検討し、ノズル内部のスロート部（ $M=1$ ）の存在を明かにし、次に、超音速用ピトー管を用い、またシュリーレン法による噴流の可視化実験を行い、加速管出口では、管内壁面境界層の発達によりスロート部は出口内部に生じ、吐出速度は超音速となり、膨張波と圧縮波を伴う振動現象の発生を見い出している。さらに、超音速域の場合、加速管長が70mm以上のノズルでは膨張波が、50mm加速管ノズルの場合、圧縮衝撃波が発生し、噴流径の急激な増加などの測定結果との良い対応を検証している。また、エアガイドの空気流動について詳細に検討し、特に、自由噴流特性を基礎として、エアガイドの流速低下防止効果の様相を明かにし、エアガイド内の流動特性とスリット付き円筒管内流れとの類似性を見出し、円筒管直径やスリット効果などの影響を明かにしている。以上、要するに申請論文は、エアジェットルームのメインノズルの超音速域を含めた噴流特性とノズル内流れを実験的に研究し、種々なノズル内流動特性、噴流現象、エアガイド内流動特性を系統的に明かにしており、今後のエアジェットルームの性能改善と向上に資するところ大であり、博士（工学）論文として十分に値するものと認定する。