

ウェーブレット多重解像度を用いた凝縮混相噴流の温度支配領域の抽出

Extraction of temperature dominant domain of condensation multiphase jets by wavelets multi-resolution

程谷幸平 (日大院) 木村元昭 (日大理工) 武居昌宏 (日大理工)
齊藤兆古 (法政大工) 堀井清之 (白百合女子大) 斎間厚 (日大理工)

HODOYA Kohei KIMURA Motoaki TAKEI Masahiro

SAITO Yoshifuru HORII Kiyoshi SAIMA Atushi

Abstract The condensation multiphase jet with vortex was clearly visualized by the laser light sheet method (LLS) and it was captured with a CCD camera with an exposure time of 1/30 [s]. The picture of the condensation multiphase jet was decomposed to the wavelets multi-resolution. The dominant temperature boundary of the condensation multiphase jet is shown at the high wavelet level (Level 2 to Level 6) of the wavelets multi-resolution. The temperature dominant domain is extracted in the high wavelet levels. The dominant temperature boundaries are Point A and Point B. Point A is outside Point B. The reason is because the vortex comes out at Point A.

Keywords: Wavelet, Condensation, Multiphase Jet, Image Processing

緒言

凝縮混相噴流は、管内流れ、ノズルからの排気、クリーンルームへの応用、および空気調和などの流体機器に関係して、重要な研究分野である。凝縮は一般的に、断熱膨張や混合により、過飽和状態の飽和蒸気が冷却されて生成される。例えば現在まで、断熱膨張による凝縮の研究については、クラウドチャンバー内の凝縮メカニズム[1]、翼面近傍の遷音速流れ[2]、ラバルノズル内の高速流体中に生じる凝縮流れが主に研究されてきた[3][4]。一方、混合による凝縮の研究については、冷却乾燥空気と高湿度空気との混合で生じる凝縮噴流が主に研究され、凝縮粒子と乱流構造の関係モデル化して乱流強度が計算された[5]。筆者らは混合による凝縮噴流の一例として、冷却乾燥空気がノズルより高湿度雰囲気中に噴出された場合について、噴流内の凝縮粒子の速度分布を測定し、噴流拡散に及ぼす凝縮粒子の影響に関する実験的な研究を行った[6]。その結果、凝縮粒子の存在により噴流拡散が促進されることを明らかにした。

本研究では、冷却乾燥空気が円形ノズルより高湿度雰囲気中に噴出されたとき、ノズル近傍より発生する凝縮粒子の短い露光時間で得た2次元画像を、離散ウェーブレット多重解像度に分解し、その高周波成分より、凝縮混相噴流構造のより詳細な可視化を行うことを目的としている。

2. 実験装置及び方法

Fig.1 は実験装置を示したものであり、円形ノズルへ冷却乾燥空気を生成供給する部分、ノズル周囲へ高湿度空気を生成供給する部分、および計測部からなる。冷却乾燥空気を生成供給する部分では、圧縮機 A により空気を活性化アルミナ型乾燥器に供給し、露点温度が -40°C になるように乾燥させた。その乾燥空気内の $0.01[\mu\text{m}]$ 以上の粒子をフィルタにより除去し、それを冷却装置により冷却した。そして、冷却乾燥空気は、ノズル直径 $d=10.0[\text{mm}]$ の円形ノズルより、噴出温度： $T_c=0^{\circ}\text{C}$ 、噴出速度： $U_c=4.5[\text{m/s}]$ の条件で、高湿度雰囲気中に噴出させた。噴流の流れ方向の計測軸を z 、流れと直角方向の計測軸を r とした。

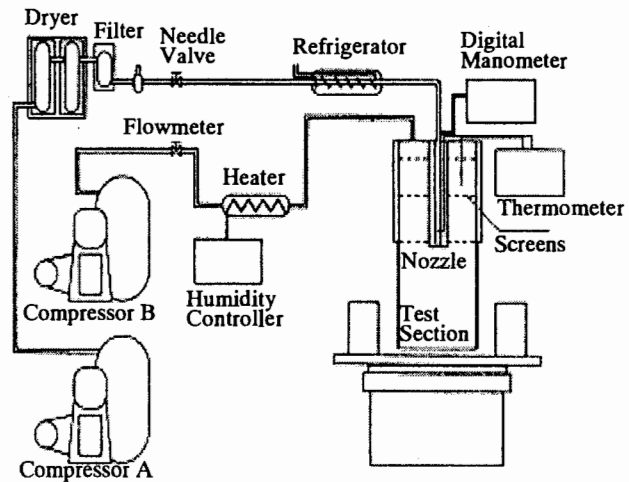


Fig.1 Experimental apparatus

一方、高湿度空気を生成供給する部分では、圧縮機 B からの空気を 2 点温度法により温度 $T_c=40^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 $RH=100\%$ に設定して高湿度空気を生成し、整流格子を通して計測部に供給した。高湿度雰囲気の計測部への供給流量は、冷却される主噴流によるエンタインメントに適合した流量とした。

この実験装置を用いて凝縮混相噴流を生成し、生成された凝縮粒子をアルゴンイオンレーザーを光源としたレーザーライトシート法により可視化し、カメラの 1/30 秒間の露光により、凝縮混相噴流画像を取得した。

3. ウェーブレット多重解像度分解の方法

凝縮混相噴流画像の凝縮粒子濃度、すなわち画像輝度をウェーブレット多重解像度に分解する方法を以下に説明する。

まず、凝縮混相噴流画像の流体部分を 256×512 ピクセルだけ取り出す。取り出した 256×512 の行列に 16 次の

Daubechies 関数を用いて、凝縮混相噴流画像の画像輝度をレベル0からレベル6までの低レベルから高レベルまでの離散ウェーブレット多重解像度に分解する。分解した解像度の高周波成分、すなわちレベル2からレベル6までの和を用いて、露光時間 1/30 秒間の凝縮混相噴流画像から、凝縮混相噴流の温度支配領域を抽出することを試みた。

4. 結果および考察

Fig.2 はレーザーライトシート法によって可視化された凝縮混相噴流画像である。視野は流れ方向に $z/d=0$ から $z/d=10$ 、半径方向に $r/d=\pm 4$ である。この凝縮混相噴流画像を、前章で述べた方法で離散ウェーブレット多重解像度に分解した。分解した多重解像度の高周波成分における、 $z/d=8$ の断面の輝度分布を示した図が **Fig.3** で、縦軸は高周波成分の画像輝度、横軸は半径方向距離を表している。

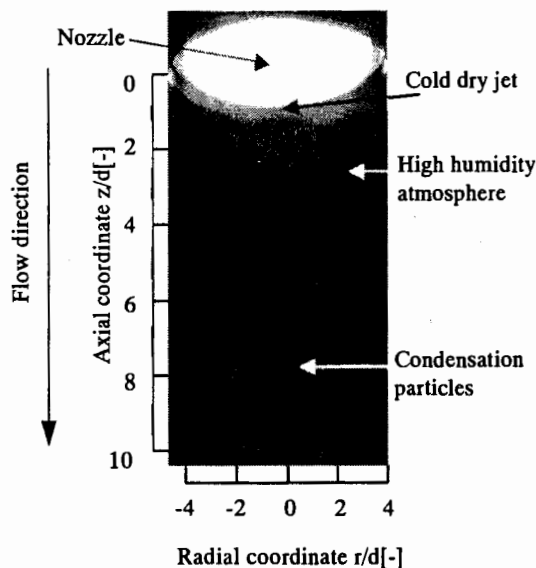


Fig.2 Image of condensation multiphase jet

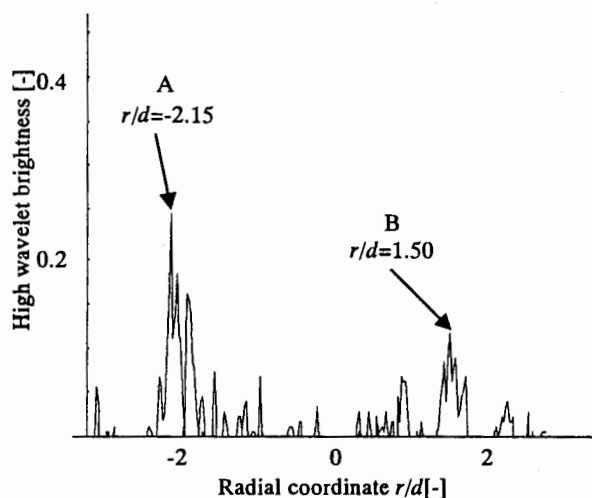


Fig.3 Brightness distribution at high wavelet level ($z/d=8$)

この図の高周波成分の画像輝度が突出している部分、すなわち A と B の部分が温度支配境界位置であり、これよりも内側の部分が凝縮混相噴流の温度支配領域であると考えることができる。ここで、温度支配領域とは冷却乾燥空気と高湿度空気とが混合して発生した凝縮粒子が存在している部分のことである。

A と B を比べてみると、A の温度支配境界位置の方が B のそれよりもノズル中心から外側に位置している。これは、A の部分では、エンタインメントにより噴流の自由せん断層付近に発生した大きな渦がはっきりと表れているためである。カメラの露光時間が 1/30 秒間の場合、凝縮混相噴流の凝縮粒子濃度は平均的な分布ではなく、瞬間的な分布で画像に表れる。このことにより、**Fig.2** では渦をはっきりと可視化することができている。

5. 結言

カメラの露光時間が 1/30 秒間の凝縮混相噴流の可視化画像からも、離散ウェーブレット多重解像度の高周波成分より温度支配境界位置を示すことができ、温度支配領域を抽出することができた。今後はこの温度支配領域が物理的に妥当であるかどうかを検討する必要性がある。

Nomenclature

z	: axial coordinate
r	: radial coordinate
d	: nozzle diameter
T_0	: exit temperature
T_e	: high humidity atmosphere temperature
U_0	: exit velocity
RH	: relative humidity

参考文献

- [1] Delale, C. F., Muijens, M. J. E. H. and Van Dongen, M. E. H. : Asymptotic Solution and Numerical Simulation of Homogenous Condensation in Expansion Cloud Chambers, J. Chem. Phys. Vol. 105, No. 19, 8804-8821 (1996).
- [2] Schnerr, G. H. and Dohrmann, U.: Transonic Flow Around Airfoils with Relaxation and Energy Supply by Homogenous Condensation, AIAA Journal, Vol. 28, No. 7, 1187-1193 (1990).
- [3] Schnerr, G. H., Bohning, R., Breitling, T. and Jantzen, H. A. : Compressible Turbulent Boundary Layers with Heat Addition by Homogenous Condensation, AIAA Journal, Vol. 30, No. 5, 1284-1289 (1992).
- [4] Hill, P. G. : Condensation of Water Vapor during Supersonic Expansion in Nozzles, J. Fluid Mech. Vol. 25, Part 3, 593-620 (1966).
- [5] Vatazhin, A. B., Klimenko, A. Y., Lebedev, A. B. and Sorokin, A. A. : Effect of Turbulent Fluctuations on Homogeneous Condensation in a Turbulent Isobaric Submerged Jet, Fluid Mechanics-Soviet Research, Vol. 20, No. 2, 1-11 (1991).
- [6] Kimura, M., Itho, K., Saima, A.: The Study of Cold Jet Issuing into High Humidity Environment, Proceedings of the ASME/JSME Thermal Engineering, 165-170 (1995).