702 LIFとPIVを用いた乱流浮力噴流の温度・速度の同時計測

Simultaneous measurement of temperature and velocity in turbulent buoyancy jet by LIF and PIV

○学　池田　宙史(新潟大院)　　正　藤沢　延行(新潟大)

Hiroshi IKEDA, Niigata University, 8050 Ikarashi2, Niigata
Nobuyuki FUJISAWA, Niigata University, 8050 Ikarashi2, Niigata

Key Words: LIF, PIV, Measurement, Flow Vizualization, Buoyancy Jet

1. 緒言

浮力噴流の挙動の計測は、工学的には海に排出される高温度の工業用排水の拡散分布、温度分布等に関連して重要である。浮力噴流の挙動を解明するためには、現象の温度場と速度場を同時にフィールド計測する必要がある。本研究では、LIFとPIVを用い温度と速度の同時計測技術を浮力噴流に応用し実験的に計測した。LIFによる温度計測においては、温度依存性の異なる2種類の染料の蛍光を撮影するためにフィルタを装着した2台のモノクロカメラが必要とされるが、ここではカラーCCDカメラのRGBフィルタを利用することにより2種類の蛍光をRed, Green、さらに速度場算出用の粒子画像をBlueに収め、1台のカメラで同時に温度・速度場を計測する手法を考案した。

2. 実験装置および方法

2.1 実験装置　実験は、図1に示すように恒温器で62℃に保った高温流体をアクリル水槽の壁面中央に設置した円筒ノズル（d=10mm）から一定温度32℃の静止流体内に噴出する。作動流体には、十分に脱気した精製水を用い、温度計測用の蛍光染料と速度計測用のトレーサ粒子を混入させ行った。噴流の平均速度は3.2cm/sとし5分間計測した。噴流の中心軸上の流れにアルゴンイオンレーザをシリンドリカルレンズを用いシート状(厚さ4mm)に照射した。それをカラーCCDカメラ（768×494画素、RBG8bit）でノズル出口近傍の60×60mmの領域を撮影し、フレームグラバ(640×480画素、RGB8bit)によりBmpファイルとして取り込み、その画像を元に温度・速度場の解析を行った。

2.2 温度場の計測　温度場の計測は、作動流体中に温度依存性の高い蛍光染料Rhodamine Bと温度依存性の低いRhodamine110を混入させ、アルゴンイオンレーザ（λ=488nm, 0.8w)によって励起された蛍光を元にLIFを用いて計測した。本実験における両蛍光染料の濃度はRhodamineB=0.2mg/L, Rhodamine110=0.4mg/Lとした。水溶液中の蛍光物質を光束I_0[W/m²]で励起すると単位体積の蛍光物質が放射する光エネルギーI[W/m²]は$I=I_0 C \phi \varepsilon$ 濃度C[kg/m³]，量子収率ϕ，収光係数ε [m²/kg]と定義すると、ϕのみが温度に依存する。そして、溶液中にϕの異なる2種類の蛍光物質A, Bが存在した場合、放射される蛍光強度の比は、入射光強度I_0に依存しない温度のみの関数となる。Rhodamine BとRhodaine110の蛍光の波長のピークは,520nmと575nmよりそれらを分離して撮影するために、榊原，Adrianはフィルタをつけたカメラを2台使用したが、図2に示すようにカラーCCDのRGBフィルタ特性がそれぞれの蛍光波長を分離して撮影できることを利用し、Rhodamine BをRed(λ=550～700nm)　Rhodaine110をGreen(λ=470～600nm)の受光素子に取り込んだ。また、作動流体中には、速度計測用にトレーサ粒子を混入しており、アルゴンイオンレーザに照射されてλ=488nmで発光しBlue(λ=405～510nm)に撮影される。しかし、BlueフィルタとGreenフィルタの透過波長の重複より撮影画像のGreen画像にはアルゴンイオンレーザにより発光した速度場計測用のトレーサ粒子が写り込むのでその除去のためにメジアンフィルタを適用し平均化し温度計測に用いた。

図3に解析手順を示す。温度計測は、蛍光輝度と温度の関係式を得るために計測領域を恒温器を用いて一様温度画像を作り任意の温度における蛍光輝度を撮影する温度検定実験を行った。図4にこの検定実験で得られた検定曲線を示す。蛍光輝度Red/GreenはT=41℃で正規化した。Red/Greenとすることによりこの検定曲線は励起光強度による影響を補正し、温度のみに依存する。検定曲線を3次式で近似し、その関係式を実験画像に当てはめ温度分布を得た。また、検定実験は噴流実験後にも行ったが、図3に示すように実験後に行った検定実験の結果は最初の検定曲線とほぼ一致し再現性が確認された。

2.3 速度場の計測　速度場は、作動流体中に16-32 μm のプラスチック製トレーサ粒子(比重1.02)を加え可視化し、アルゴンイオンレーザの488nmの波長で発光している粒子が撮影されているBlue画像にPIV法を適用する。Blue画像の一定時間（1/60秒）後の移動量から速度場を算出した。解析アルゴリズムとしては輝度差累積法を適用した。ただし、解析におけるマトリックスサイズは36×36とし、探索領域は20×20である。

山梨講演会講演論文集（共催　日本機械学会関東支部・精密工学会，2001-10-20，甲府）

3. 結果及び考察

図5は、噴流を流し始めてから3分後から1.5 s間隔で1分間撮影した画像40枚のLIF法を適用した結果の平均温度分布であり、図6は同じ画像をフィールド分割しその1/60s間隔の2枚の画像にPIV法を適用し得られた速度場の平均速度分布である。噴流は温度差に起因する浮力の影響によりノズル出口で乱流に変化し強い垂直方向の力を受け、噴流は水平方向距離s=25mm付近で完全に水面に到達する。また水平方向距離s=25mm以降では速度が非常に遅く、噴流による温度混合の影響を受け難いため温度分布は時間経過とともに成層を形成していくのが確認された。

4. 結論

カラーCCDカメラを用いてLIFによる温度場の可視化計測とPIV法による速度場測定を1台で同時に行う手法を開発し、浮力噴流の挙動を検討した。

参考文献

(1) Sakakibara J, Adrian RJ,
Experiments in Fluids 26(1999) pp.7-15.

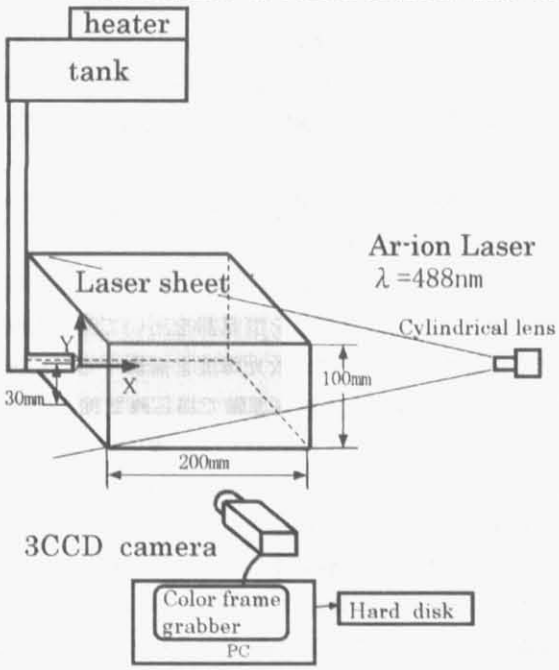

Fig.1 Experimental apparatus for buoyant jet

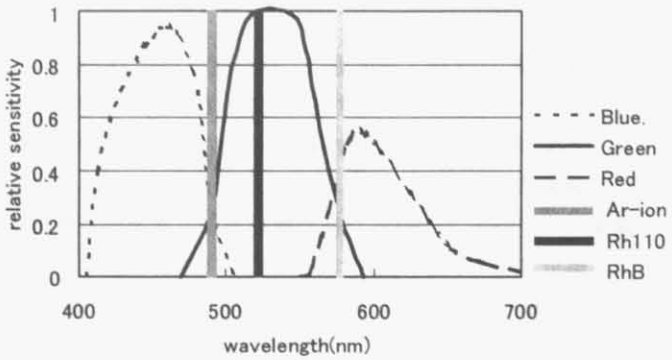

Fig.2 Characteristics for RGB filters in CCD camera

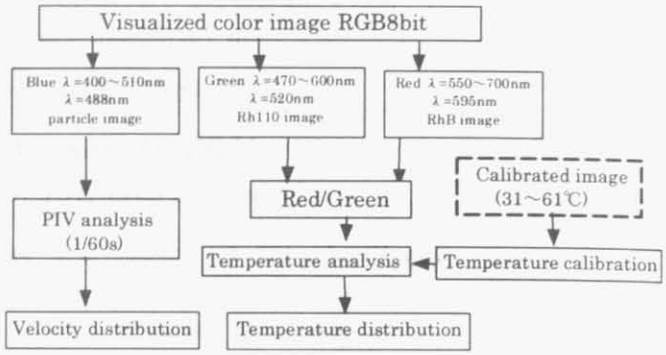

Fig.3 Flowchart of temperature and velocity measurement

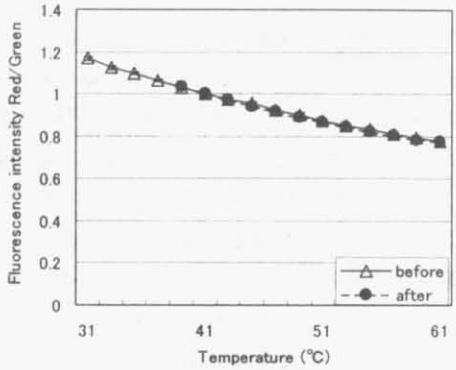

Fig. 4 Intensity ratio between Red/Green against temperature

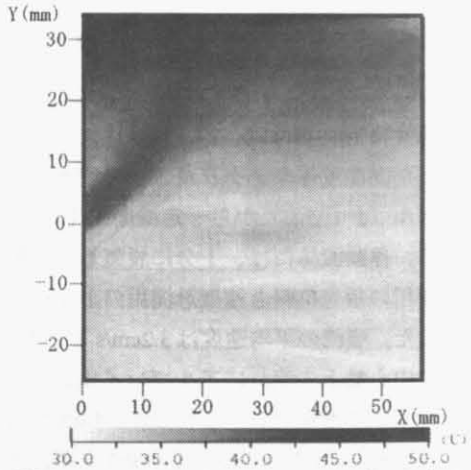

Fig.5 Temperature distributions of test section after 3 minutes

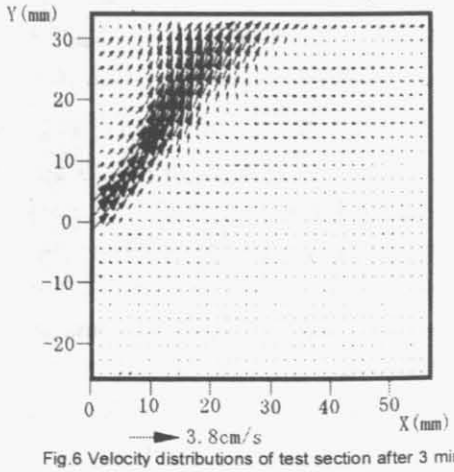

Fig.6 Velocity distributions of test section after 3 minutes