

E

熱と流れの可視化技術

近年、計算機能力の飛躍的な発展により、数値計算力学(CFD: Computational Fluid Dynamics)の計算速度と精度が格段に向上し、多くの問題に適用できるようになってきた。その状況の中、CFDの妥当性検証や補完する目的に実験流体力学(EFD: Experimental Fluid Dynamics)の重要性が増している*1)。

そのEFDの中でも最近では可視化実験技術の進展は目覚ましく、高温・高速の流れ場の可視化に適用されるようになってきた。その理由は、最近のデジタル機器の発展によるものが大きい。可視化実験の照明に必要なレーザー機器は小型かつ安価になり、さらにSR-CMOS技術の発展によって高速度カメラの時間分解能と感度が格段に向上した。その結果、高速や高温の流れ場の観察が可能になっただけでなく、流速分布などの流れ場の定量化も可能になりつつある。そこで、本稿では最近の熱と流れの可視化技術について報告する。



技術本部
エンジニアリングメカニクス事業部
CAE・実験評価部 試験技術室
延谷 義晴



技術本部
エンジニアリングメカニクス事業部
CAE・実験評価部 解析技術室
松岡 寛和

E-1 トレーサー法による可視化

1-1 粒子画像流速測定法 (PIV: Particle Image Velocimetry)

粒子画像流速測定法(PIV)とは、流れにトレーサーを注入し、粒子群の運動が流体の運動を同一とみなして流体速度を計測する手法である*2)。その概要を第1図に示すが、基本的な機器構成は、照明、撮影用カメラおよび画像処理装置である。

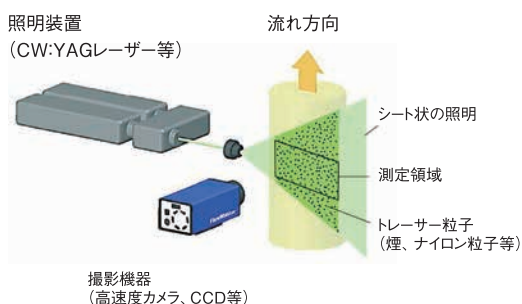
PIVの利点は、2次元シート光を照射すれば、流れ場の2次元断面の流速ベクトル分布の経時変化を定量的に求めることにある。

実例として、第2図にネブライザーからの噴霧を可視化した例を示すが、噴霧の濃度分布だけでなく、噴霧源近傍を高速度カメラで拡大して撮影することで、噴霧の流速分布を定量化することができる。これらは動画でも見ることができ、流況の経時変化を観察することも可能となる。

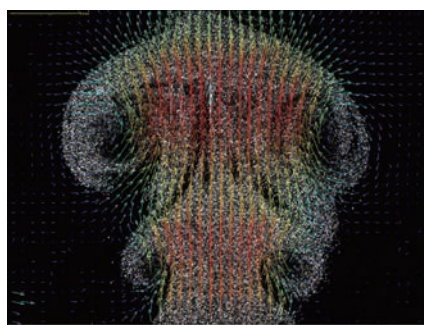
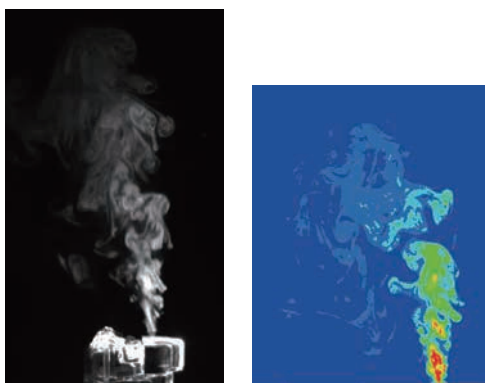
第2図のネブライザーの可視化では、噴出するミス

トそのものがトレーサーの役割を果たしたが、実際には可視化のためにトレーサーを混入する場合は圧倒的に多い。その場合、流れ場を乱さないようにトレーサーを混入する必要があり、そのトレーサー選択とその混入方法が重要な技術となる。

第1図 粒子画像流速測定法(PIV)



第2図 噴霧の濃度分布と速度ベクトル(PIV)



参考文献

- *1) 渡辺重哉ほか: JAXAにおけるEFD/CFD融合に向けた試み ~デジタル/アナログ・ハイブリッド風洞構想~, 第40回流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム2008 論文集(2008), pp50-55
- *2) たとえば、松原雅春: 流れの可視化トレーサー法による実例と粒子画像流速測定法への応用, 検査技術 17巻8号(2012), pp1-4 トレーサー法

1-2 高速度PIV

参考文献

*3)
奥村昌好ほか：フレア護岸
の製作・施工、土木学会
第60回年次学術講演会
(2005.9), pp303-304

水の場合、トレーサーは水と同じ比重のものが望ましいことからナイロンビーズなどの樹脂粒子やアルミニウム微粒子が可視化に用いられる。ただし、可視化範囲が広く、水の量が多い場合など、トレーサーの量が膨大になることが予想される場合は、トレーサーを混入できない。その場合、水に発生する気泡をトレーサーとして利用する。その典型として、(株)神戸製鋼所の開発したフレア型護岸*3)の可視化例を示す。

フレア型護岸とは、第3図に示すように断面形状を凹ませた曲面を有する護岸であり、その最大の特長は、フレア型護岸壁特有の湾曲形状で水塊の運動エネルギーのベクトルを変え、越波を生じにくくすることにある。

まず、フレア型護岸の模型水理実験における可視化風景を第4図に示すが、水槽室内を暗室化し、観察したい場所に複数のキセノンライトを配置する。この照明の配置が可視化映像の良否に影響する。

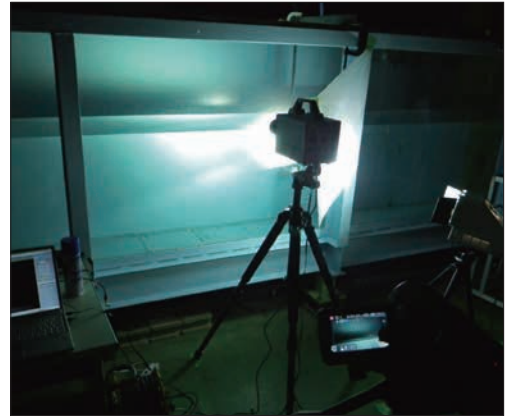
第5図に模型前面に碎波が衝突する様子を可視化した例を示す。高速度カメラには、フォトロン社のFASTCAM SA1.1を用い、5000fpsで撮影した。碎波が巻き波となって護岸に衝突し、その一部が越波となって護岸を超えるが、大半は護岸で跳ね返るように押し戻される様子が伺える。フレア型護岸は、従前の直立型護岸に比べ、反射率が低くなると言われているが、フレア護岸の凹み域での流れを注意深く可視化することによってその理由を考察することも可能になると思われる。

第3図 フレア型護岸壁

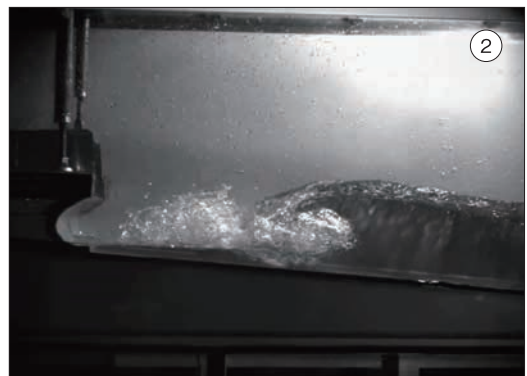
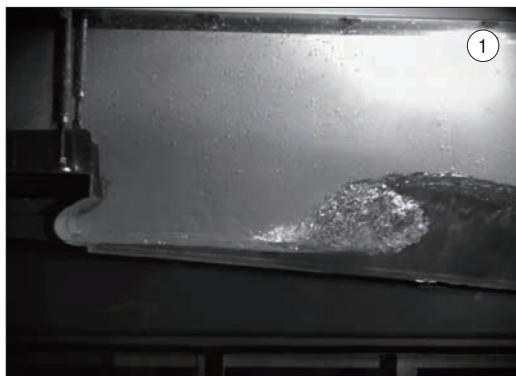


岡山県南浦海岸

第4図 可視化実験の撮影風景(カメラと照明)



第5図 フレア型護岸壁に押し寄せる碎波の変形と衝突の可視化



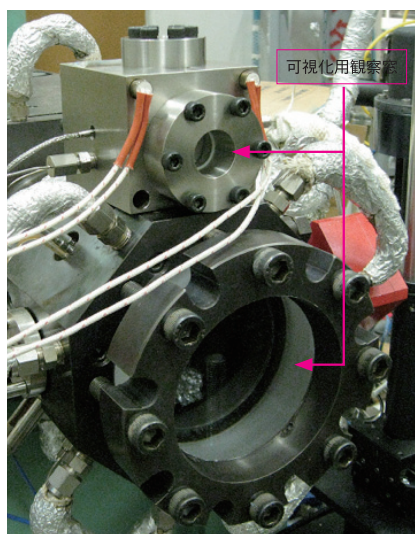
E-2 燃焼場における熱と流れの可視化

2-1 エンジン燃焼場の火炎の可視化

エンジン燃焼室の熱空力環境を調べるため、燃焼火炎の可視化を試みた。その目的はLES乱流燃焼解析の妥当性検証である。第6図に実験装置の写真を示すが、燃焼室内の可視化のためにサイトガラスを取り付けている。燃焼火炎から発生する、OHラジカルの自発光を光干渉フィルター(中心波長330nm、半値幅80nm)を付けた観察窓を介して、イメージンテンシファイア(浜松ホトニクス社製)と高速度カメラで撮影した。代表的な結果として、火炎伝播の様子を第7図に示す*4)。この例では、燃焼室の初期圧力を0.139MPaとしたときのメタンの燃焼火炎であるが、撮影速度16kps、撮影時間間隔0.25msで撮影した時の映像である。

第7図にはLES乱流燃焼解析の結果を比較して示すが、細長い火炎の界面で乱れが発生し、周囲の未燃ガスを巻き込み横方向に火炎が広がる様子をよく表している。

第6図 可視化用エンジン燃焼実験装置



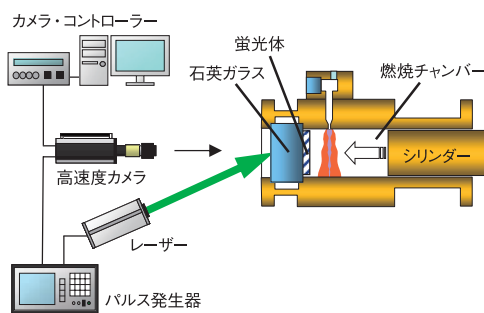
2-2 レーザー誘起蛍光法

(LIF: Laser Induced Fluorescence)

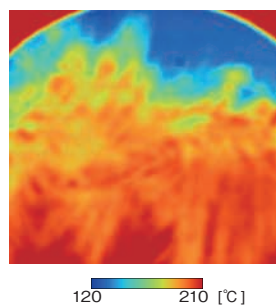
蛍光物質にレーザー光を照射したとき、温度に応じた明るさの蛍光が得られる。この原理を利用して温度と流況分布を可視化する方法*5)があり、それはレーザー誘起蛍光法と呼ばれている。その実験装置を第8図に示す。第9図は、エンジン燃焼室の壁をガラスにし、その内面に塗られた蛍光体($Y_2O_3S: EuSm$)の輝度を測定することによって燃焼室の壁面温度を可視化した例である。

これは着火40ms後の燃焼室の壁面温度であるが、このように計測された温度と解析結果を比較することで、解析の妥当性を検証した。

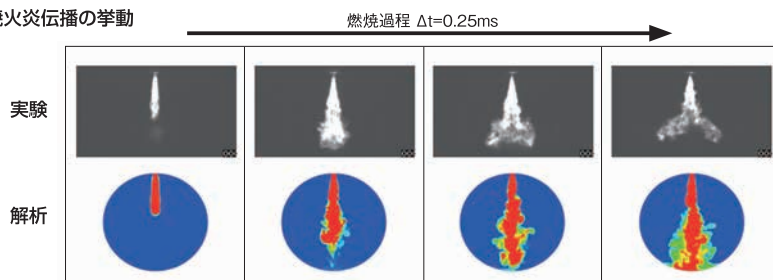
第8図 レーザー誘起蛍光法(LIF)の実験装置



第9図 燃焼室の壁面温度の可視化



第7図 燃焼火炎伝播の挙動



本稿では、これまで開発してきた熱と流れの可視化技術を中心に紹介した。可視化の場合、高温、高速の流れ場へのニーズがますます高くなっている。今後は、

実験信頼性をさらに高めつつ、可視化などEFDならではの結果を創出し、高度化する熱流体問題の課題解決に向けて、総合的な技術を開発する所存である。

参考文献

- *4)
満田正彦ほか: エンジン模擬実験と燃焼の解析・計測技術, 自動車技術 Vol.65, No.7(2011), pp32-36
- *5)
染矢聡、坂田藍美: 機能性粒子を用いた流体の温度・速度の同時計測, 精密工学会誌Vol.79, No.7(2013), pp618-621