

TSParticle

染矢 聡
東京大学

これまで流体中の任意断面での温度場計測には、感温液晶やレーザー誘起蛍光法などが用いられてきた。しかし、高速な流れ場を対象とする場合や比較的高温場を対象とする場合にはこれらの適用が難しい面がある。例えば、気体中の温度場計測ではアセトンガスなどの利用が必須であったり、オイル中で利用可能な感温性蛍光染料がほとんど存在しないなどの問題があった。また、速度との同時計測を行う場合には、速度計測側で蛍光粒子を利用すると、温度計測用の蛍光染料の選択肢が大きく制限されるといった問題もある。そこで、気体・オイル・水などの流体に関わらず利用可能で、かつ、高温場や高速流れ場にも適用できる可能性を持つ方法として、感温塗料と PIV を組み合わせた温度速度同時計測法として TSParticle を作成、これを用いた温度・速度場計測を行った。

ここでは TSParticle に利用する染料として、EuTTA を選定した。この TSParticle は比較的粒子径分布もシャープで、PIVに適しており、また、20～100℃の範囲で非常に高い感度で温度に応答した。Eu(TTA)の場合、燐光輝度と燐光寿命の両方が温度に依存するが、ここでは参照画像などが不要な寿命法を採用し、ペルチェ冷却 CCD カメラのダブルシャッターモードを活用して、減衰途中の燐光画像を取得し、これらの減衰比⇒寿命として温度と燐光寿命の関係を求めた。その結果、その関係は観察部位にほとんどよらず、線形な関係を得た。

この TSParticle を利用してオイル中での温度成層場形成過程の様子について、温度速度の同時計測を行った。その結果、減衰比は温度 1℃あたり-7.5%と大きく変化し、温度変化の様子をよくとらえることができた。速度場についても通常の PIV 解析を特に問題なく実施することができ、温度と速度の同時計測を実現することができた。

参考文献

- 1) Abe S, Okamoto K, Madarame H, The development of PIV=PSP hybrid system using pressure sensitive particles, Meas. Sci. Technol. 15 (2004) 1153-1157.
- 2) Kimura F, et al., Dual luminophore polystyrene microspheres for pressure-sensitive luminescent imaging, Meas. Sci. Technol. 17 (2006) 1254-1260.

TSParticle

東京大学大学院新領域創成科学研究科
人間環境学専攻
染矢 聡 some@k.u-tokyo.ac.jp

どんな温度測定方法？

速度場との時系列同時計測(PIVとのハイブリッド)

温度レンジ: できるだけ広く. ~100°Cは測定したい

感温液晶→レンジが狭い. 10度くらい?

レーザー誘起蛍光法(LIF)→

高温に弱い. 複雑形状流れ場で, 速度(PIV)と同時計測する場合, PIVにも蛍光粒子を利用するため, 染料選定が難しい.

高速で頻回に励起→予想外の消光現象

燐光の利用

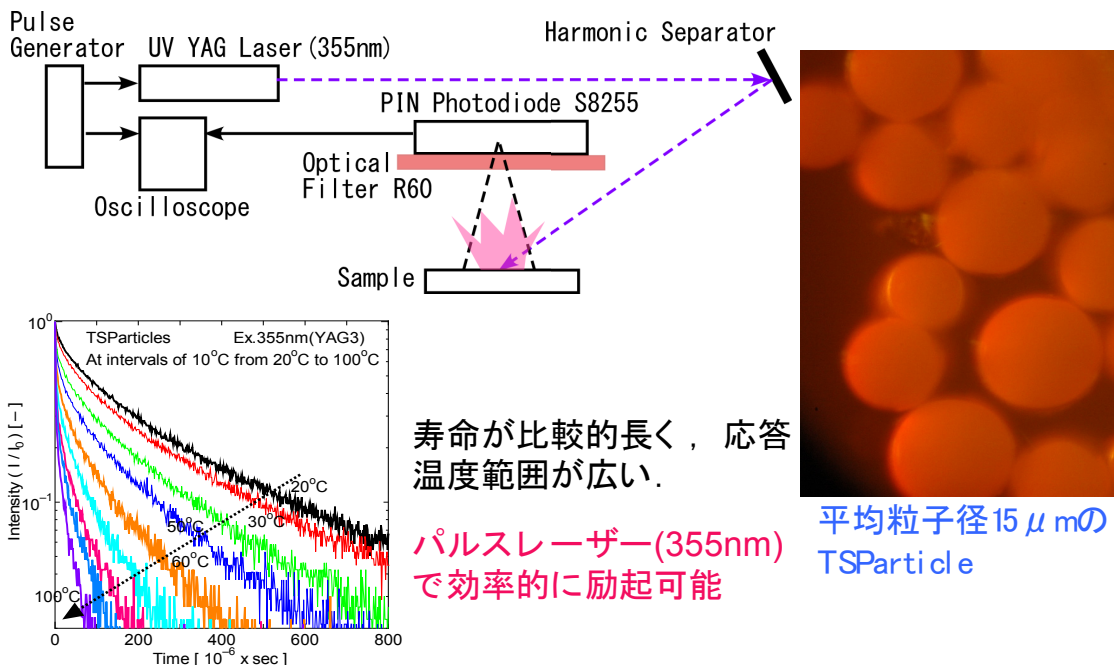
TSParticle (Temperature Sensitive Particle)

励起回数が少なく済む

高温でも広範囲に利用可能(最高~1100°C)

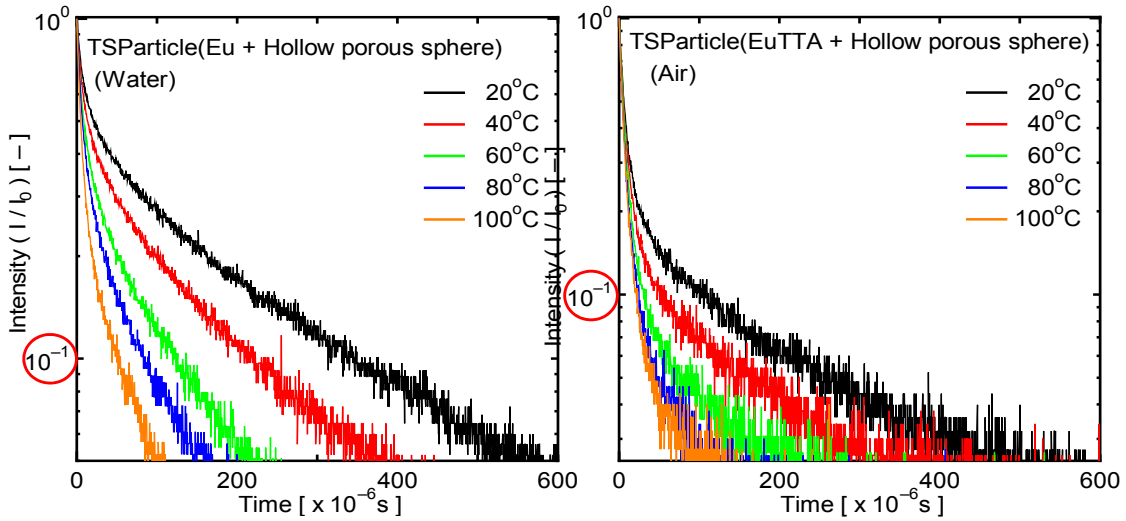
光強度だけでなく寿命を利用可能~励起光強度の不安定に影響されない

☆一つの燐光染料⇔PIV蛍光粒子+二色LIF



ユーロピウム錯体: 固体壁面に塗布した場合の燐光寿命に与える温度の影響 (TLCシート 吸着, 空气中, $\lambda_{ex}=355nm$)

TSParticle 燐光寿命に与える温度の影響(空气中/水中, $\lambda_{ex}=355\text{nm}$)



粒子に吸着させても大丈夫+水中でも空气中でも大丈夫
 水中での減衰により信号強度は水中の方が弱い
 もちろんオイル中でも使える

撮影した画像の例(左が第一フレーム, 右が第二フレーム)



第1 フレーム



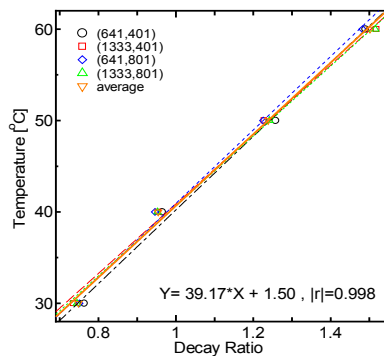
第2 フレーム

自然対流が十分遅く, 両フレーム間での粒子の移動はほぼ検出不能

これらの画像の輝度比で減衰率→温度を評価

画像自体には励起光のムラによる輝度分布が強く残る

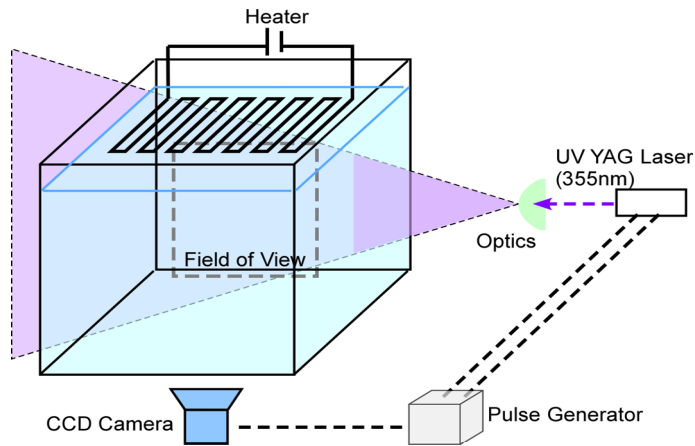
減衰比の場所依存性



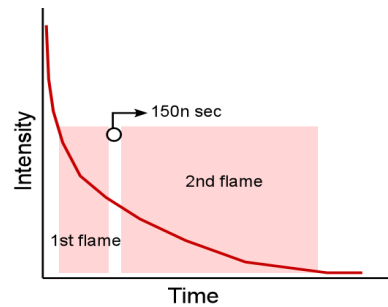
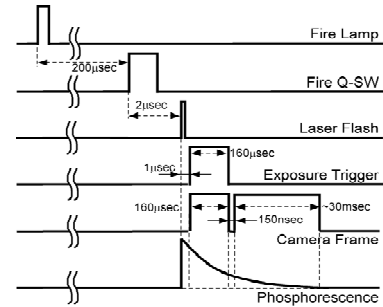
ある程度強い光を受光できるなら
 ほとんど場所に依存しない

精度UPしたい場合にはローカルに補正した方がよい

冷却型CCDで温度分布，温度変化を撮影

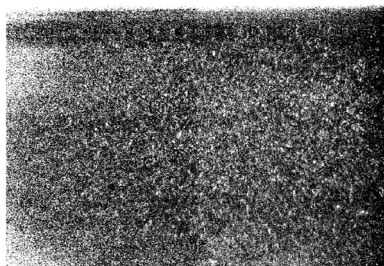
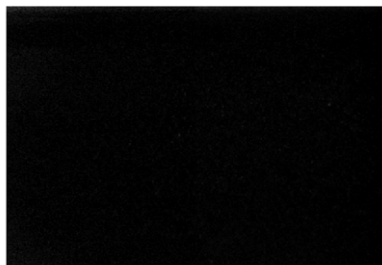


PCO1600→1600x1200, 14bits, 30fps
 多孔質無機粒子に染料をカップリング
 32°Cから52.6°Cまで昇温(液面近傍温度)
 1フレーム目の露光時間160マイクロ秒

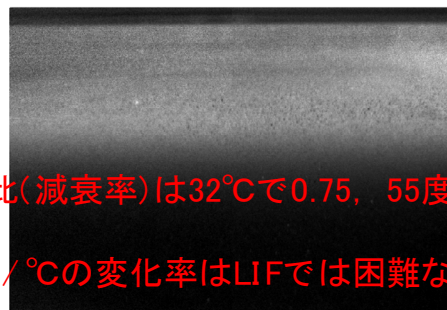
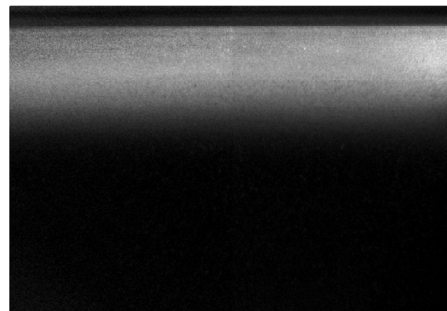


減衰率の非定常性を無視した最も簡単なケース

温度評価結果



通電直後で，まだ温度上昇がほとんど見られない瞬間の温度分布



上は通電開始から約3秒後，下は約9秒後

輝度比(減衰率)は32°Cで0.75, 55度で1.30
 →
 -7.5%/°Cの変化率はLIFでは困難な変化率

ついでにPIVで速度も計算してみる

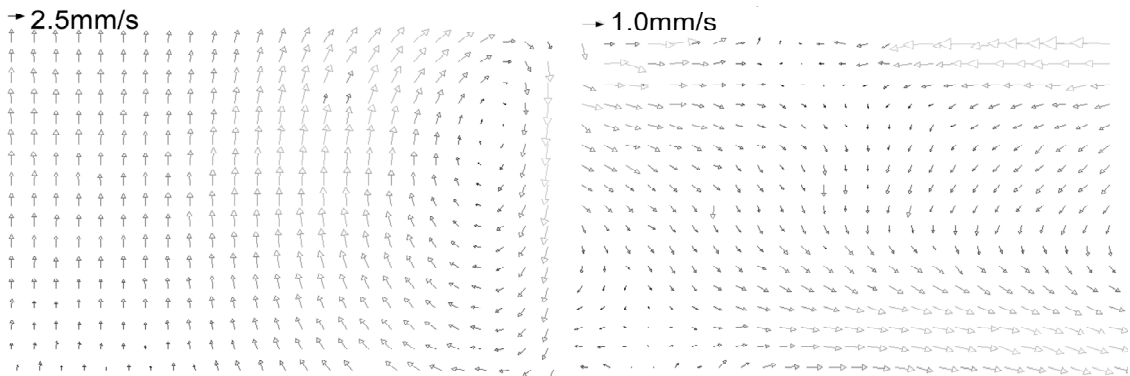
10Hzで画像ペアを取得し、温度を測定した。

→各画像ペアの1枚目の画像を用いて、PIV解析。複雑形状流れ場でも複数の染料や蛍光粒子を使わずに温度・速度を測定できそう。

→ただしこのままでは高流速場に対応できない。

左は加熱開始直後。表面のマランゴニ効果などで流れが誘起された？

右は通電をとめた後。



結論：

TSP染料を焼き付けたTSParticleを利用して、流れの瞬時速度分布と瞬時温度分布を任意の二次元断面で取得することができた。今回の温度成層場を利用したデモンストレーションでは、速度の測定精度は通常のPIVと同程度であり、特に問題はない。温度については、1°Cあたり7.5%と大きな感度を持ち、測定値の分散も非常に小さいため、ある程度の精度は確保できていると考えている。つまり、簡易的に熱電対を用いて校正できる±0.25度程度の精度はある。現在のシステムでは時間のダイナミックレンジが非常にせまく、応用性に欠けるため、高速度カメラを用いたシステムも構築している。

この研究のポイントはこれまで流れと温度を任意の二次元断面で捉えることが難しかった気体流れや、オイル流れ、蛍光粒子でのPIVが必要な複雑な流れでも、適用可能な温度・速度同時計測法を提案、実証した点である。