

超音速非定常流れ場及び蝋燭における熱対流現象の BOS 法による定量計測

Quantitative measurement by using the BOS method for supersonic unsteady flow field and thermal convection phenomena around candles

ME16 木村紘章
指導教員 稲毛達朗

1. 緒言

地球上の様々な自然現象において衝撃波が発生することが知られている。従って、衝撃波現象を解析していくことが重要となりつつある現状において、衝撃波の解析には模擬実験や数値シミュレーションによる研究が行われている^[1]。模擬実験における解析手法としては、シャドウグラフ法やシュリーレン法を用いた可視化計測が主流となっている。しかし、定性的結果であるため結果が定量的な数値解析と比較することができない。従って、本研究では、流れ場の定量計測が可能な Background Oriented Schlieren(BOS)法を採用している。本報告では、衝撃波を含む超音速非定常流れ場及び伝熱現象と呼ばれる熱エネルギーが移動する現象の2種類の現象を計測する。特に対流熱伝達は冷暖房等の基本的現象となり、人類の生活に身近なものである。この対流熱伝達は、主に蝋燭の炎等による自然対流熱伝達と冷暖房等による強制対流熱伝達現象に分けられている。そこで、安価で容易に入手可能な蝋燭を用いて自然対流熱伝達現象の定量計測を行う。本研究では、簡素な光学系を用いて超音速非定常流れ場及び蝋燭における熱対流現象を BOS 法により定量計測することを目的とする。

2. 研究のアプローチ

衝撃波の発生装置にはピストン式無隔膜衝撃波管を用いている。この衝撃波管は高压部に乾燥空気を5気圧まで充填し、電磁弁を用いて低压部と高压部を仕切るピストンを高速で動作させることにより、圧縮空気を大気中に放出する。この衝撃波管内部を圧縮空気が伝播する際に衝撃波が形成され、開孔端において放出される。衝撃波管に設置された2つの圧力センサを衝撃波が通過することで圧力信号を発生させる。デジタルカメラでは、音速を超える衝撃波は撮影が不可能であるが、暗室中でシャッターを開放し、DPG(Delay and Pulse Generator)によって圧力信号に対する遅延信号を出力し、光源を500[ns]で発光させることによって撮影を可能とする。

蝋燭における熱対流現象の観測では、観測部に蝋燭を等間隔で3本配置し、各々の蝋燭が別々に揺らめく状態で時間を置くと、3本の蝋燭の炎の振動が1つの炎のように同期し周期的に揺らぎ始める共振現象が発生する。共振現象の撮影は、光源を常時点灯させ露出時間を1/4000[s]に設定したデジ

タルカメラにより撮影し共振現象の計測を行う。

3. 結果

図1に放出衝撃波を10[μs]間隔で撮影したBOS結果を示す。図1より圧力センサからの遅延時間が480~530[μs]の際の放出衝撃波の連続波面を観測することが可能である。これにより、任意の時間における放出衝撃波の波面状態を確認することが可能である。

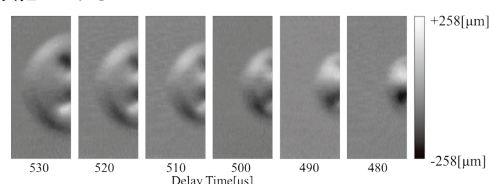


図1 衝撃波の10[μs]毎の計測結果

図2に蝋燭上部における対流現象のBOS結果、図3に共振現象発生時と通常時の様子を示す。図2より通常時は熱対流がまっすぐ上昇していることが分かるが、共振現象発生時は共振の周期と同期した振動を持つ熱対流が上昇することが分かる。

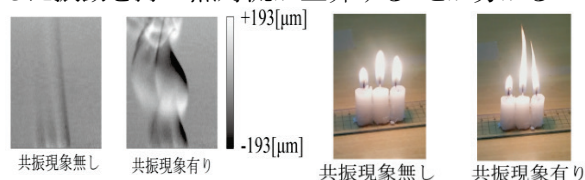


図2 BOS 結果

図3 蝋燭の共振現象

4. 結論

衝撃波放出を任意のタイミングで撮影し、定量的結果の取得をすることが可能である。また、画像ごとの遅延時間の差と先頭波面の移動量から大気に放出された瞬間マッハ数の算出が可能である。蝋燭における熱対流現象は通常時から共振現象発生時の様子まで定量計測が可能である。また、蝋燭間距離の変更により共振現象の発生条件を取得することが可能である。

5. 今後の発展

蝋燭の共振が発生する瞬間をハイスピードカメラによって撮影し、BOS法を用いて計測することで共振が発生する原理を定量的に解明する。また、密度勾配分布を取得し状態方程式から温度分布を算出することを今後の展望とする。

文献

- [1]安芸恵太, 栗原健, 有元啓倫, 太田匡則: “12台のカメラを用いた多方向同時撮影系による非定常熱対流現象の3次元密度計測”, 日本機械学会講演論文集, No.15-1, 2015