

二線式平行熱線流速計による空気・He 超音速混合場の濃度・質量流束変動計測 Measurements of Fluctuations of Mass Flux and Concentration in Supersonic Air/Helium Mixing by Hot-Wire Anemometry

○ 近藤 暁, 阪府大工, 堺市中区学園町 1-1, E-mail: kondoh@aero.osakafu-u.ac.jp
坂上 昇史, 阪府大工
新井 隆景, 阪府大工
Akira KONDO, Osaka Prefecture University, 1-1 Gakuen-cho, Naka-ku, Sakai, Osaka
Shoji SAKAUE, Osaka Prefecture University
Takakage ARAI, Osaka Prefecture University

To realize a measurement method of instantaneous fluctuations of mass flux and concentration in supersonic flow, experiments are made for a Mach 2.4 supersonic 2D air/helium mixing layer by using a double-hot-wire probe and constant voltage anemometry (CVA) circuit with 500 kHz bandwidth. The mean distributions and the instantaneous waveforms of mass flux and helium concentration show that our measurement method proposed in this study can capture the mixing process of the supersonic mixing layer.

スクラムジェットや COIL (Chemical Oxygen-Iodine Laser) の技術課題の一つに超音速混合促進制御があげられる。その制御方法改善には瞬間的な混合状態評価が必須であり、様々な手法が提案されている^{1,2)}。しかし、主に時間分解能の点で十分でなく、定量評価手法はまだ確立されていない。そこで、本研究では図 1 に示す熱伝達特性の異なる 2 本の熱線を持つ二線式平行熱線流速計プローブを用いた濃度・質量流束の同時定量計測を可能にする手法を提案し、その有効性を実験的に明らかにした。

本計測手法の原理は、垂直速流に適用された Harion³⁾の手法と同様で、以下の通りである。熱線の熱平衡式は次式で与えられる。

$$\frac{I_{wi}^2}{R_{wi}(R_{wi}-R_{ai})} = A_i(c) + B_i(c)\sqrt{\rho u} \quad (i=1,2) \quad (1)$$

ここで I_{wi} は熱線の両端にかかる電圧, R_{wi} は加熱状態での熱線抵抗, R_{ai} は気流温度における熱線の非加熱抵抗, c は濃度, ρu は質量流束であり、左辺 $I_{wi}^2/R_{wi}(R_{wi}-R_{ai})$ は熱線のエネルギー消散率 (Power Dissipation Ratio, PDR) を、添字 i は異なる熱線を表す。 $A(c)$, $B(c)$ は熱線固有の濃度に関する関数であり、濃度・質量流束が既知の流れで較正し決定する。熱伝達特性の異なる 2 本の熱線で計測することで、(1)式から濃度・質量流束が得られる。本研究では、熱線回路に定電圧型回路を使用し、従来得られなかった高周波の変動計測を行った。

図 2 は、本提案手法の有用性確認のため計測対象とした空気・ヘリウム 2 次元超音速混合層のシュリーレン写真である。この混合層はマッハ数 2.4 の空気流とマッハ数約 0.4 のヘリウム流により形成されている。計測は、 $x = 30$ mm, $x = 100$ mm, -4 mm $\leq y \leq 10$ mm の風洞スパン中央で行った。図 3 は、 $x = 30$ mm における平均濃度の混合層中央からの y 分布である。図中実線は空気流側にトレーサ粒子を一様に導入して得た瞬間可視化画像 200 枚から求めた粒子の存在しない (ヘリウム流である) 確率分布 (ヘリウム濃度分布) を参考のため示した。両者はよく一致しており、二線式熱線流速計による計測結果が妥当であると判断できる。

図 4 は、混合層中央での濃度・質量流束の時系列波形を示す。2つの熱線出力電圧の相関係数は 0.6 ~ 0.8 であり、流れの同一性は高いと考えられる。図より、濃度と質量流束の変化がほぼ対称的であることがわかる。今回計測した x 位置では、混合が十分進んでいないため、密度すなわち質量流束が大きな空気流が熱線をよぎる場合は濃度が低く、逆に質量流束の小さなヘリウム流がよぎる場合は濃度が高くなっていると考えられる。図 5 は、濃度と質量流束の共分散の y 分布を示す。混合層の中央部を頂点とする負の共

散を持ち、流下に伴いその絶対値が減少している。混合が進むにしたがって濃度は一様になるの、濃度と質量流束の時系列変化に対称性は無くなり、共分散は零に収束することから、図 5 は、混合層内に空気流とヘリウム流が取り込まれ混合が進んでいく様子を捉えていると判断できる。

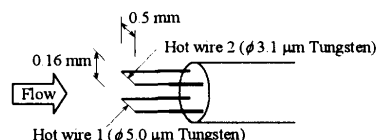


Fig. 1 Double-hot-wire probe.

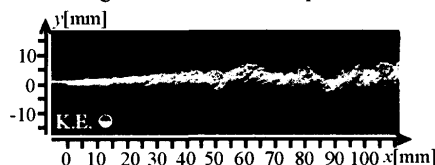


Fig. 2 Schlieren photograph of the mixing layer: knife edge. ●

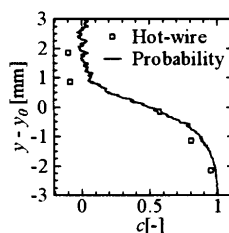


Fig. 3 Mean helium concentration distribution.

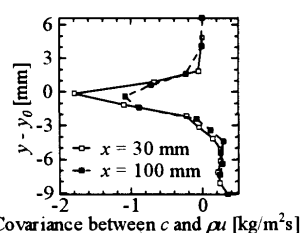


Fig. 5 Covariance between helium concentration and mass flux.

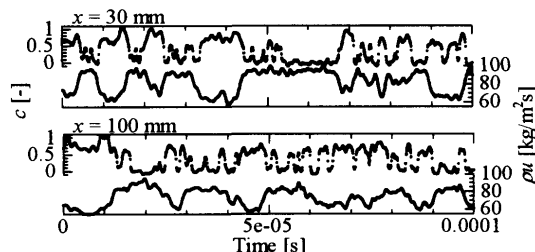


Fig. 4 Waveforms of helium concentration and mass flux at the center of the mixing layer.

参考文献

- 1) O. C. Xillo, et. al., M. S. thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, (1998).
- 2) T. Arai, et. al., AIAA-2005-323 (2005).
- 3) J. L. Harion, et. al., Exp. in Fluid, **22**, (1996) 174-182.