

狭帯域赤外カメラを用いたガス温度計測

Measurement of gas temperature based on a narrow-band infrared camera

NIMS °宮崎 英樹, 笠谷 岳士, 齋藤 正浩, 木本 一也, 對木 雄太朗, 落合 哲行

NIMS °H. T. Miyazaki, T. Kasaya, M. Saito, K. Kimoto, Y. Tsuiki, T. Ochiai

E-mail: MIYAZAKI.Hideki@nims.go.jp

我々は、二酸化炭素(CO₂)の吸収波長に合わせた狭帯域赤外カメラ[1]を用いた、CO₂の排出量計測技術を開発している[2]。ガスを透過した赤外光の強度はガスの濃度だけでなく温度にも依存するため、排出量の定量計測にはガスの温度の把握が重要である。逆に、赤外光透過強度の温度依存性を利用すれば、画像からガスの温度を簡便に計測することができる。

温度 T_b の背景物体(とりあえず完全黒体と仮定)から熱放射された赤外光が柱密度 ζ_g (濃度と厚さの積)、温度 T_g のガスを透過した時の強度 I_g は、輻射輸送方程式を用いて式(1)で表される[3]。

$$I_g = e^{-\alpha_g \zeta_g} I_b(T_b) + (1 - e^{-\alpha_g \zeta_g}) I_b(T_g) \quad (1)$$

ただし、 α_g : 吸光係数、 $I_b(T)$: 温度 T におけるプランク放射強度。

ガスがない時 $I_0 = I_b(T_b)$ と比べた輝度変化 ΔI は式(2)で表され、

$$\Delta I = I_g - I_0 = (1 - e^{-\alpha_g \zeta_g}) [I_b(T_g) - I_b(T_b)] \quad (2)$$

背景温度 T_b とガス温度 T_g の大小関係により明暗が入れ変わる。 $T_b = T_g$ となる瞬間、ガスは見えなくなる。

このことを利用すると、ガスの背景に温度可変の熱放射光源を置き、その温度を高速に変化させながらガスの映像を取得しておき、ガスが見えなくなった瞬間の光源温度 T_b としてガス温度 T_g を求めることができる。測りたいガスが CO₂ を含まない場合にも、CO₂ をトレーサーとして混合すれば温度測定が可能になる。現実には、背景の光源は完全黒体ではなく、実際の温度より低いある等価温度 T_b' の完全黒体のように見える。従って、正確にはガスが見えなくなる瞬間の背景の等価温度 T_b' としてガスの温度がわかる。

室温付近のガス(CO₂濃度9%、流量11 SLM)に対して背景温度を10°Cから40°Cまで変化させたときの観測例をFig. 1に示す。(a) 背景が低温の時($T_b' < T_g$)、ガスは明るく、(c) 高温の時($T_b' > T_g$)、ガスは暗く見える。その間に、(b) ガスが背景と同じ輝度となり($T_g = T_b'$)、見えなくなる瞬間がある。この瞬間は、前のフレームとの差分画像の分散が極小となる時として判別でき [Fig. 1(d)]、この例では $T_g = 23.5^\circ\text{C}$ と計測された。講演では、ガス温度に分布がある場合も含むいくつかの事例について計測結果を紹介する。

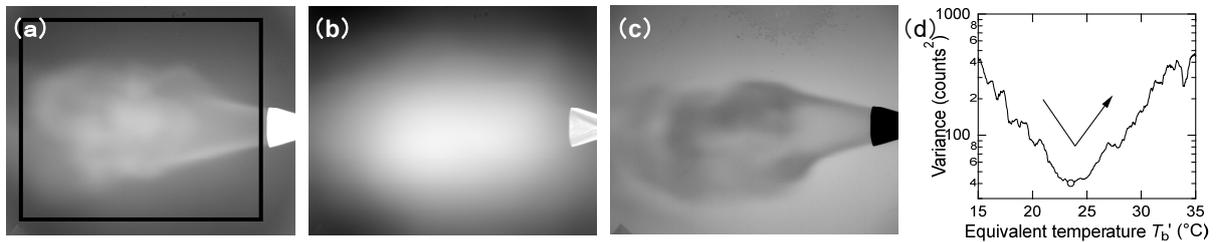


Fig. 1 CO₂ gas images for (a) $T_b' < T_g$, (b) $T_b' \sim T_g$, and (c) $T_b' > T_g$.

(d) Total variance of subtracted images within the area shown in (a) vs T_b' .

謝辞 PRISM、NIMS センサ・アクチュエータ研究開発プロジェクト、市村清新技術財団、JSPS 科研費 (JP22K18990, JP23K26576)、鉄鋼環境基金、(株)フォトリテック、豊島慶大氏、農業・食品産業技術総合研究機構に感謝します。一部の成果は NEDO の委託業務 (JPNP14004) の結果得られました。

参考文献 [1] <https://www.youtube.com/watch?v=fcmFokliq2Q>. [2] 宮崎他, 応物学会 2025 春, 14a-K304-7. [3] R. Siegel and J. R. Howell, *Thermal Radiation Heat Transfer* (Hemisphere, 1980).