

赤外線カメラによる気流の可視化技術

Airflow Visualization Technique Using Infrared Camera

1. はじめに

目に映らない空気の流れを可視化することは、空調機器制御による暑熱対策、製品の冷却工程管理および熱処理炉の効率的な廃熱など、環境の熱マネジメントに有効である。気流を可視化する既存技術としては、タフト法¹⁾やPIV法²⁾等がある。タフト法では空気の流れによってなびく糸などを多数設置する必要があり、PIV法ではトレーサ粒子やレーザー等を使用する試験環境構築が不可欠である。そのため大工場内やサーバ室などの広い空間、あるいは汚染を嫌う半導体や食品の工場など、スモーク等トレーサ粒子を使えない場所では適用できない。

それに対し、当社が開発した赤外線カメラを用いた気流の可視化技術は、大気中にわずかに(～数百 ppm)含まれるCO₂の温度を測定しそれをトレーサとして利用する。またシステムとして可搬性が高いため、既存技術では対応不可能な測定が可能である^{3,5)}。本稿では、赤外線カメラによる気流可視化技術の原理といくつかの適用事例について紹介する。

2. 赤外線カメラによる気流可視化の原理

一般の赤外線カメラは、固体表面の温度計測を目的とする。そのため、「大気窓」と呼ばれる大気の吸収を避けた波長帯で設計されており、単純に熱画像を測定しただけでは気流は可視化できない。しかし大気中のCO₂による赤外線吸収が波長域約4.3 μmでおこることから⁵⁾、当社では、

中赤外波長域(3~5 μm)に感度のある赤外線カメラを用いることで、CO₂による吸収を利用し、気流の可視化を実現した。

図1に気流可視化の原理の概略を示す。赤外線カメラによる熱画像は背景と気体の温度が足された画像である。背景と気体を分けて考えると、背景である固体表面の温度は数秒以下の短時間(Δt)では、ほぼ一定で変化がないとみなせる。一方、背景温度と異なり温度ムラのある気体が移動している場合、気体はΔt間に“温度変化”として観測される。つまり、背景と気体の温度が足された画像であっても、短時間の温度変化を解析すると気体だけの温度変化を抽出でき、この温度変化を時間的に連続した画像として動画化する事で、気流として認識できる。また、温度変化の解析手法として、当社独自の画像解析技術である「短時間ロックイン解析法」³⁾を用いることで、ノイズが低減され気流の動きが分かりやすくなる。短時間ロックイン解析法は一定時間撮影した一連の温度データを数秒の短時間の窓で切り出し、それを時間方向にずらしながらロックイン解析を行う手法である。なお、ロックイン解析法では熱負荷の周期信号を参照信号として同期検波を行うが、短時間ロックイン解析法では周波数を固定した仮想的な参照信号に基づいて同期検波を行う。ここで、当技術を用いて気流可視化が可能な条件は以下のとおりである。

- ①気流に温度ムラがあること
- ②中赤外波長域に感度のある赤外線カメラを用いること
- ③背景に温度変化や動きがないこと(カメラは固定撮影)

3. 気流可視化事例

写真1に事例測定に用いた気流可視化システムを示す。赤外線カメラ・ノートPC・三脚から構成される。検出素子は中赤外波長域に感度があるInSb、検出画素数は640×512、最大フレームレートは125 FPSである。

3.1 ファンヒータ

図2にファンヒータからの暖気を気流可視化解析した例を示す。図2(a)は測定対象の外観写真、図2(b)は赤外線カメラによる熱画像、図2(c)および図2(d)は気流可視化結果である。ファンヒータのスポットモードとワイドモードで、暖気の広がりが大きく異なる様子が観察された。

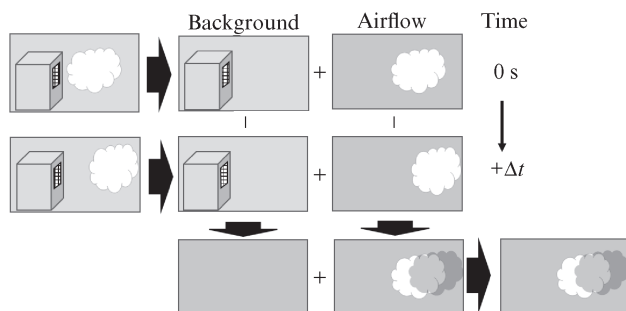


図1 気流可視化の原理概略図

Fig. 1 Schematic diagram of principles in airflow visualization technique



写真1 赤外線気流可視化システム³⁾

Photo 1 Airflow visualization system using infrared camera³⁾

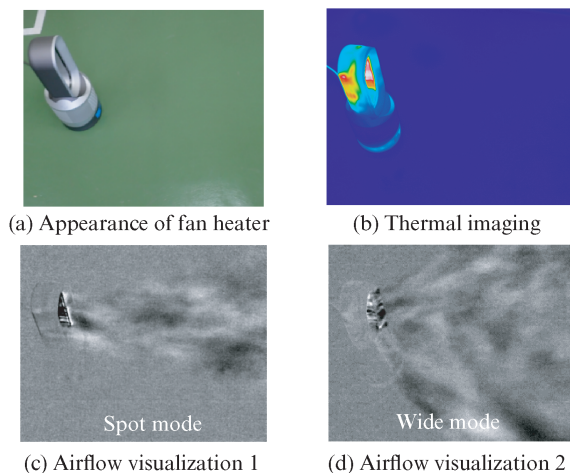


図2 ファンヒータによる気流
Fig. 2 Airflow with fan heater

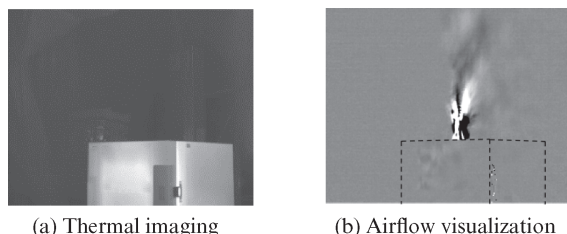


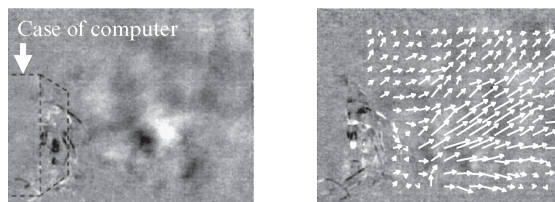
図3 熱処理炉からの気流³⁾
Fig. 3 Airflow from heat treatment furnace³⁾

3.2 熱処理炉³⁾

図3に約800℃に保たれた熱処理炉の扉を数mm解放した際に漏れ出る気流を可視化した例を示す。図3(a)は熱画像、図3(b)は気流可視化結果である。扉解放時に、熱処理炉上部の排気口から熱風が広範囲に漏洩していることがわかる。

3.3 コンピュータの排熱とベクトル解析

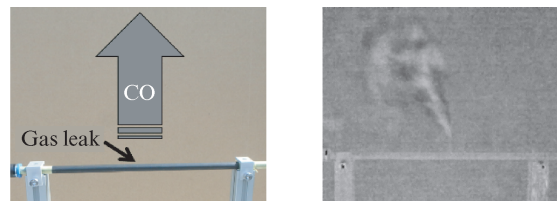
図4にコンピュータから出てくる排熱の気流可視化例を示す。図4(a)は気流可視化結果、図4(b)は気流可視化の動画に、PIV法解析ソフトウェアを用いてベクトル解析³⁾⁵⁾を実施した結果である。コンピュータ筐体の外に広がる排熱の様子がわかる。



(a) Airflow visualization (b) Result of vector analysis

図4 コンピュータの排熱

Fig. 4 Airflow of exhaust heat from computer



(a) Appearance of tube with leak (b) Airflow visualization

図5 漏洩COの気流可視化

Fig. 5 Airflow of CO gas leak

近年、サーバ室等の冷却設備の最適化や、食品工場や半導体工場等の清浄度維持のため、空気の流れをつくり外部からの異物混入を防ぐことに数値流体力学(CFD)が活用されている。本技術を用いることで風向特性を把握でき、CFD精度の検証および精度向上への貢献が期待できる。

3.4 気流可視化による漏洩ガス検知⁵⁾

図5にポンペに繋げたチューブに穴を開け、そこから漏洩するガスを可視化した例を示す。図5(a)は測定対象の外観写真、図5(b)はCOの漏洩を可視化して検知した例である。CO₂とCOに加え、水蒸気、プロパン、メタン等の中赤外波長域の赤外線を吸収するガスを検知できる。

4. おわりに

赤外線カメラによる気流可視化技術は、スモーク等の特別なトレーサを使わずに気流を直接可視化できる。また、赤外線カメラとPCだけの簡単な構成で、バッテリー駆動も可能なため、さまざまな場所に持ち運べる。AI用サーバ室や大型ビル内の空調システムの流れ最適化、各種炉等における漏洩ガスの検知、さらに廃熱回収工程の解析や冷却工程の監視などにも応用でき、その適用範囲は極めて広い。JFEテクノロジーでは本技術を利用したシステムの開発・販売および受託計測を行っている。今後もお客様の新たなニーズに応えるべく、新しい応用分野への展開を図っていく予定である。

参考文献

- 1) 「建築設備と配管工事」編集委員会. 建築設備と配管増刊流れの可視化. 建築設備と配管工事. 2019, vol. 57, no. 10, p. 1-12.
- 2) M. ラッフエル, C.E. ヴィラート, J. コペンハンス. PIVの基礎と応用 粒子画像流速測定法. 丸善, 2013, 246p.
- 3) 福田義徳, 船川義正. 赤外線カメラを用いた気流の可視化技術. 熱処理. 2024, vol. 64, no. 4, p. 187-192.
- 4) 齊藤友里恵, 二村智昭, 福田義徳, 大重貴彦. 赤外線カメラを用いた気流の可視化技術. 第41回センシングフォーラム論文集. 2024, p. 97-100.
- 5) 園部治, 福田義徳. 赤外線カメラを用いた気流の可視化技術. クリーンテクノロジー. 2024, vol. 34, no. 4, p. 5-9.

〈問い合わせ先〉

JFE テクノリサーチ 営業本部
TEL: 0120-643-777
ホームページ: <https://www.jfe-tec.co.jp>