

顔温度画像を用いたマスクからの空気漏れ量推定に関する研究

新保 勇人

指導教員：村上 和人

1 はじめに

近年、大気汚染や感染症の対策として、マスクの需要が高まっている。しかし、マスクと顔の隙間から空気漏れが発生すると、その効果が低減する。感染症流行時に病院における医療従事者の二次感染対策にマスクが効果的であるが、一方で、家庭におけるインフルエンザの二次感染リスクは減少しないという報告がある[1]。その原因は、マスクを正しく着用できていないことである。このことから、マスクの正しい着用を支援する必要がある。マスクからの空気漏れ量を計測して、空気が漏れている位置と量を確認することで、マスクを正しく着用できると考えられる。接触式のセンサーで空気漏れ量を計測すると、感染症流行時に衛生的な計測が難しい。そのため、非接触に空気漏れ量を推定する必要がある。

本研究の目的は、非接触にマスクからの空気漏れ量を推定することである。以下では、マスクからの空気漏れ量推定の基本アイデアを示し、煙を媒介とした空気漏れ量推定のための煙量推定手法について述べる。また、顔温度画像を用いた空気漏れ量推定手法を提案し、空気漏れ量推定実験により提案手法の精度の評価を行い、その結果を述べる。

2 マスクからの空気漏れ量推定の基本アイデア

マスクと顔の隙間から空気が漏れると、漏れた空気が接する顔の皮膚の温度が上昇する。これは、人の深部体温が顔の表面温度よりも高く、体内で空気が温められるためである。図 1(a)、(b)はそれぞれ、マスク上部に隙間を作ってマスクを着用した人の息を吐く前と後の顔温度画像である。また、図 1(c)は図 1(b)から図 1(a)を引いた差分画像であり、息を吐く前後で温度が上昇した領域を白色で表している。この例では、目の周辺領域の温度が約 1.0 度上昇している。また、空気漏れ量の増加にともない温度変化が大きくなると考えられる。そのため、それらの関係を明らかにすることで、顔温度変化から空気漏れ量を推定できると考えられる。そのために、両者を同時に非接触に計測する必要がある。そこで、本研究では、可視光カメラで撮影可能な電子タバコの煙を用い、吐き出した煙の量を推定し、煙の量から空気漏れ量を推定する。また、サーモビジョンカメラを用いて、空気漏れによる顔の温度変化を計測する。そして、空気漏れ量と顔温度変化の関係を調べる。

3 煙量と輝度の関係

煙量と可視光カメラによる観測画像から得られた輝度値の関係を調べる予備実験を行った。容量が 950mL の容器内に黒い紙を配置し、電子タバコの煙をためる。このとき、煙の量と黒い紙の配置を変えて容器内の煙濃度と煙の奥行を調節する。そして、可視光カメラにより黒い紙を撮影して観測画像の輝度値を計測する。

実験結果を図 2 に示す。図 2 より、煙濃度と輝度は線形関係（相関係数 0.987）にあること、煙の奥行と輝度は線形関係（相関係数 0.981）にあることを確認した。

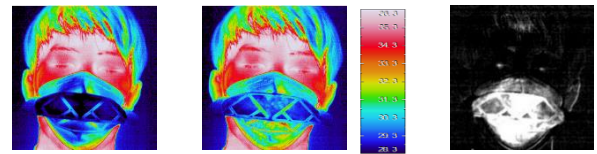


図 1 マスクからの空気漏れによって変化する温度分布

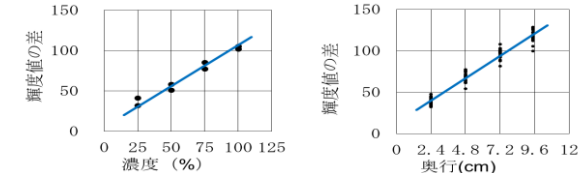


図 2 煙量と輝度の関係

4 煙量推定

4.1 煙量推定手法

時々刻々と変化する煙の瞬間的な濃度分布を推定するために、3 章で確認した煙量と輝度の関係と視体積交差法を用いた煙量推定手法を提案する。

提案手法では、任意の煙量を基準に、相対的な煙量を推定する。使用するカメラの台数を N とし、 k 番目のカメラを C_k ($k = 1, 2, \dots, N$) とする。本手法では初めに、一つの面に黒い紙を貼った容器内に任意の量の煙を溜め、黒い紙を背景にして、全てのカメラで輝度を計測する。 C_k の濃度 100% の基準とする輝度 S_k を次の式で計算する。

$$S_k = \frac{(L_k - L'_k) \times B}{D} \quad (1)$$

ここで、 L_k は容器に煙を溜めた時の C_k による観測輝度、 L'_k は煙を溜めていない時の C_k による観測輝度、 B はボクセルの一辺の大きさ、 D は煙の奥行である。次に、 N 台のカメラを用いて視体積交差法により煙の三次元形状を取得する。また、 C_k から得た煙のシルエット画像を用いて、煙の写っている画像と背景画像のシルエット部分の差分をとり、差分画像 F_k を作成する。そして、 C_k で計測した煙濃度 $d_k(x, y, z)$ をボクセルへ逆投影する。煙濃度 $d_k(x, y, z)$ は次の式で求める。

$$d_k(x, y, z) = \frac{F_k(i, j)}{S_k} \times \frac{B}{D_k(x, y, z)} \quad (2)$$

ここで、 $D_k(x, y, z)$ は各ボクセルに対して C_k から見た煙の奥行である。 $D_k(x, y, z)$ は煙の三次元形状から求める。また、各ボクセルの濃度値は各カメラからの逆投影結果の平均値とする。最後に、煙量を体積と濃度の積により求めてボクセルごとの煙量とし、全ボクセルの煙量を加算して全体の煙量を計算する。

表 1 体積と煙量の推定結果

No.	体積 (mL)	相対的煙量 (%)
1	8.78×10^3	99.5
2	8.62×10^3	98.8
3	6.52×10^3	79.0
4	4.38×10^3	62.0

4.2 煙量推定実験

煙量推定手法を用いて煙量推定実験を行った。4 台のカメラを使用し、電子タバコの煙をシリンジで 100mL 吸い出して容器に溜め、濃度基準となる輝度値を決定する。そして、100mL の煙を空間に放出して煙量を推定する。

4 回の煙量の推定結果を表 1 に示す。表 1 の相対的煙量は次の式で計算した。

$$\text{相対的煙量} = \frac{\text{煙量の推定値}}{\text{濃度基準とした煙量}} \quad (3)$$

表 1 より、体積が大きいときは、基準に対する相対的煙量の誤差が小さく、高い精度で推定された。

5 マスクからの空気漏れ量と顔温度変化の関係

5.1 空気漏れによる顔温度変化抽出手法

マスクと顔の隙間から空気が漏れると、漏れた空気が接する皮膚の温度が上昇するが、マスクの温度も上昇する。空気漏れによる顔温度変化を計測するには、マスクの温度変化と区別する必要がある。そこで、非接触に空気漏れによる顔温度変化を計測するために、顔温度画像からマスクの温度変化と区別して、空気漏れによる顔温度変化を抽出する手法を提案する。以下では、顔温度画像はカメラと被写体との距離を一定にして撮影したものとする。

提案手法では初めに、図 3(a), (b) のような息を吐き出す前と後の顔温度画像 I_1 , I_2 を入力し、 I_2 から I_1 を引いた差分画像 F_{diff} を生成する。次に、 F_{diff} を閾値 t_1 で二値化し、図 3(c) のような二値画像 F_{bin} を生成する。そして、 F_{bin} をラベリング処理して画素数が最大となる図 3(d) の白い領域のような連結領域をマスク領域 R_1 として検出する。また、図 3(e) の赤い矩形領域のようにマスク領域 R_1 の上部を、空気漏れによる温度変化領域 R_2 として検出する。次に、図 3(f) のような差分画像 F_{diff2} を次の式で作成する。

$$F_{diff2}(x, y) = \begin{cases} F_{diff}(x, y), & (F_{diff}(x, y) \geq t_2, \\ & I_1(x, y) \geq t_3, \\ & I_2(x, y) \geq t_3, \\ & x_{min} \leq x \leq x_{max}, \\ & y_{min} \leq y \leq y_{max}) \\ 0, & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (4)$$

ここで、 x_{min} と x_{max} は R_2 の横軸の最小、最大座標であり、 y_{min} と y_{max} は R_2 の縦軸の最小、最大座標である。最後に、 F_{diff2} の R_2 の温度変化の合計 s を次の式で計算する。

$$s = \sum_{i=x_{min}}^{x_{max}} \sum_{j=y_{min}}^{y_{max}} F_{diff2}(i, j) \quad (5)$$

5.2 マスクからの空気漏れ量と顔温度変化の関係

マスクからの空気漏れ量と顔温度変化の関係を調べる実験を行った。空気漏れ量は煙量推定手法を用いて推定し、顔温度変化は式(5)の s の値を用いる。また、実験参加者 8 人の各々に対して 60 回のデータを取得する。

実験結果を図 4 に示す。両者の相関係数は 0.830 であり、高い相関を確認できた。

6 マスクからの空気漏れ量推定

6.1 マスクからの空気漏れ量推定手法

マスクからの空気漏れ量と顔温度変化の関係を用いて、

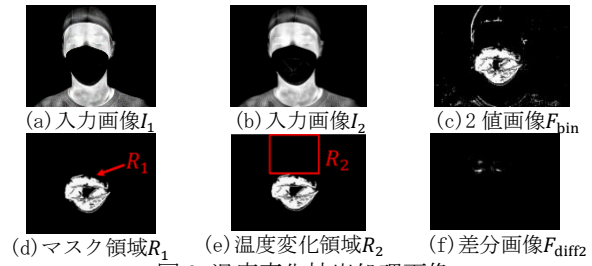


図 3 温度変化抽出処理画像

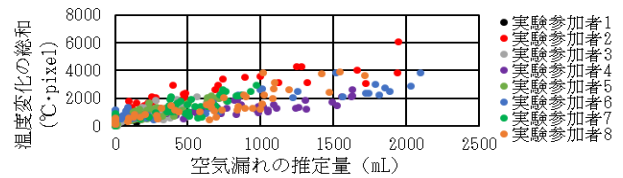


図 4 空気漏れの推定量と顔温度変化の関係

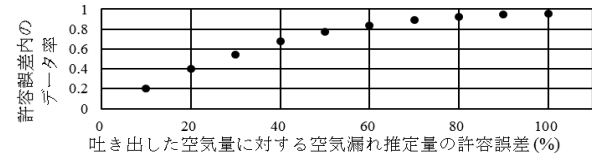


図 5 空気漏れ量推定結果

顔温度変化から空気漏れ量を推定する手法を提案する。

提案手法では、事前に煙量推定手法で推定した空気漏れ量と顔温度変化抽出手法で求めた温度変化を入力して、最小二乗法により回帰直線モデルを作成する。そして、空気漏れ量を推定する場合は、2つの顔温度画像を入力して温度変化を求め、モデルにより空気漏れの推定量を計算する。

6.2 マスクからの空気漏れ量推定実験

実験参加者 8 人各々の 60 回のデータを用いて、Leave-one-out 方式で提案手法により空気漏れ量を推定する。

実験結果を図 5 に示す。提案手法では、呼気量に対して 30%以下の誤差で約 54.6%のデータが推定された。

提案手法による空気漏れ量推定は、精度の高い推定は難しいものの、空気漏れが多い、少ないといった評価の推定には利用できると考えられる。また、図 4 の散布図のデータ分布が、個人間でばらつきがある。これは、顔の形や大きさなどの個人特徴により、同量の空気漏れでも呼気が接する顔の表面積に差があるためと考えられる。この個人特徴を考慮して温度変化を抽出することにより、推定精度を向上できると考えられる。

7 おわりに

本稿では、煙量と輝度が線形関係にあることを示し、煙量推定手法を提案した。また、煙量推定手法とマスクからの空気漏れによる温度変化抽出手法を用いて空気漏れ量と顔温度変化の相関が高いこと確認した。そして、空気漏れ量推定手法を提案し、実験により呼気量に対して 30%以下の誤差で約 54.6%のデータが推定されることを示した。また、顔の形や大きさなどの個人特徴を考慮して温度変化を抽出することで、精度を向上できる可能性を示した。

参考文献

- [1] S. Takahashi, M. Suka, H. Yanagisawa, "Antiviral Face Masks for the Prevention of Influenza Infection: a Meta-analysis", General Medicine 2014, Vol. 15, No. 2, pp.126-135, 2014.