

咳、会話、呼吸により生じる気流性状のPIV解析

高橋 洋太 指導教員 有波 裕貴 助教

1 研究目的

人の周囲には人体表面と周辺の温度差による熱上昇気流、呼吸や咳、発声等による様々な気流が生じている。人が室内で発生させる汚染質や飛沫などは気流に追従して空気中を浮遊・拡散する。その拡散性状は人体周辺の気流の影響を強く受けると考えられる。新型コロナウイルスの世界的な流行に伴い、呼吸からの感染を防止するため、マスク・フェイスシールド・マウスシールド等を着用することが日常的になっている。マスクを着用した際の呼吸域^{*1}の気流性状に関してはCFD解析を用いた研究^{*1}が見られるが、実測による研究はほとんどない。また、フェイスシールド、マウスシールドを着用した場合の顔周辺の気流性状は明らかとなっていない。

本研究では粒子画像流速測定法^{*2} (PIV: Particle Image Verocimetry) を用い、呼気の条件、マスク等の条件を変化させた場合の顔周辺に生じる気流性状を明らかにすることを目的とする。

2 研究概要

2.1 実験概要：図1に実験機器と被験者^{*3}の配置、表1に実験条件を示す。実験は2,900[mm] (幅) × 2,600[mm] (高さ) × 2,900[mm] (奥行き) の新潟大学所有の可視化用チャンバーで行う。被験者はBMIが18.5 ~ 25[kg/m²] (正常範囲内) の健康な成人男性2名とする。被験者はマスク等の様々な条件で咳、会話、呼吸を行う。実験室内で座位の被験者の正中線上にシート状のレーザを照射する。被験者は目を閉じた上で厚手の黒色アイマスクとレーザ専用保護メガネを着用する。被験者が着用するマスクは不織布マスクとし、フェイスシールド、マウスシールドは一般に使用されているものを対象とする。

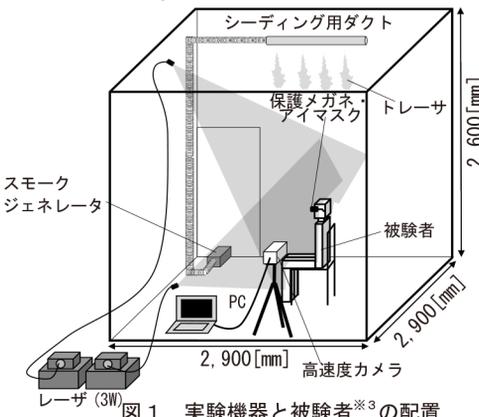


表1 実験条件

実験case	マスク等の条件	呼気の条件
caseA	着用なし	咳
		会話
		呼吸
caseB	マスク	咳
		会話
		呼吸
caseC	フェイスシールド	咳
		会話
		呼吸
caseD	マウスシールド	咳
		会話
		呼吸

表2 実験機器の仕様

カメラ	高速カメラ	Photron FASTCAM SA3
レーザ	OPGL-3W×2台	LD励起:YAG/YVO ₄ レーザ 波長:532[nm] 出力:3[W]
解析ソフト	カメラ制御 PIV解析	Photron FASTCAM Viewer ver.4.0.2.1 Flow-Expert ver1.2.13.0

表3 PIV測定パラメータ

実験case	caseB	caseA、C、D
画像サイズ[pixel]	1,024×1,024	
キャリブレーション値 [mm/pixel]	0.3	
測定対象領域[m]	0.3×0.3	
測定時間[s]	5.5	
測定間隔[ms]	1(1,000[fps])	
検査領域[pixel]	30×30	
探査領域[pixel]	±10×±10	±20×±20

2.2 実験機器の概要：表2に実験機器の仕様を示す。可視化には出力3[W]のシート状レーザ2台を同時に使用し、照射断面を一致させ、高速度カメラを用いて撮影する。

2.3 PIV測定概要：表3にPIV測定パラメータを示す。どの条件でも高速度カメラのフレームレートは1000[fps]とし、測定時間は5.5[s]とする。可視化用のトレーサには難燃性のスモークを使用し、可能な限り気流場に影響が生じない位置に設置したシーディング用ダクトから供給する。

3 実験結果

図2に咳、会話、呼吸をして約0.1[s]後から10フレーム(1/1000[s]×10枚)分の解析結果を平均した風速ベクトル分布を示す。

3.1 各caseの気流性状

(1) caseA (着用なし、図2(a)~(c))：気流の影響範囲^{*4}は、咳(図2(a))では口の前方220[mm]程度、会話(図2(b))では口の前方130[mm]程度、呼吸(図2(c))では口の前方100[mm]程度の範囲に入る。風速は、咳では約2.0~2.5[m/s]、会話では約0.5~1.0[m/s]、呼吸では約1.0~1.5[m/s]となる。咳は会話や呼吸の約2.0倍程度の風速となる。口の前方100~200[mm]程度の範囲で放射状に広がる気流となる。

(2) caseB (マスク、図2(d)~(f))：気流の影響範囲は、咳(図2(d))では口の上方110[mm]程度、会話(図2(e))では口の上方50[mm]程度、呼吸(図2(f))では口の上方110[mm]程度の範囲に入る。風速は、咳では約0.5~1.0[m/s]、会話では約0.1~0.2[m/s]、呼吸では約0.2~0.4[m/s]と、マスクを着用すると風速は極めて遅くなる。

(3) caseC(フェイスシールド、図2(g)～(i)): 気流の影響範囲は、咳(図2(g))では口の下方140[mm]程度、会話と呼吸(図2(h)、(i))では口の下方60[mm]程度の範囲に入る。風速は、咳では約2.0～2.5[m/s]、会話と呼吸では約1.5～2.0[m/s]となる。咳は会話と呼吸の約1.3倍程度の風速となり、フェイスシールド下方から放射状に広がる気流となる。

(4) caseD(マウスシールド、図2(j)～(l)): 気流の影響範囲は、咳(図2(j))では口の上方140[mm]と口の下方80[mm]程度、会話と呼吸(図2(k)、(l))では口の上方120[mm]程度の範囲に入る。風速は、咳では約1.0～1.5[m/s]、会話と呼吸では約0.5～1.0[m/s]となる。咳は会話と呼吸の約1.7倍程度の風速となり、マウスシールドの上方と下方に気流が生じる。

3.2 マスク、フェイスシールド、マウスシールドの比較:

マスク等の着用がない場合、主に口の前方に、マスク着用では口の上方に、フェイスシールド着用では口の下方に、マウスシールド着用では口の上方に気流が生じる。どの呼気の状態でも着用なしと比較して最も気流速度が低下したのは、マスクを着用した場合である。フェイスシールド、マウスシールドを着用した場合、マスク着用と比較して気流速度が低下しにくい。

4 まとめ

- ①マスク等の着用がない場合、咳は会話や呼吸の約2.0倍程度の風速となり、口の前方100～200[mm]程度の範囲で放射状に広がる気流となる。
- ②フェイスシールド着用の場合、咳はフェイスシールド下方から放射状に広がる気流となる。
- ③どの呼気の状態でも着用なしから最も気流速度が低下したのは、マスクを着用した場

合であり、マスク着用と比較してフェイスシールド、マウスシールドを着用した場合、気流速度が低下しにくい。

注釈

- ※1 人の呼吸により生じる吹出・吸込気流が周囲の気流速度に影響を及ぼす範囲である。人の行動により影響範囲は変化するが、一般には1～2[m]程度と考えられている。
- ※2 流れの中に微細なトレーサ粒子を混入させその動きを動画として撮影し、個々の微粒子あるいは微粒子群の移動距離と撮影間隔から速度ベクトルを算出する方法の総称。
- ※3 新潟大学倫理審査委員会で承認済み(2020-0076)。
- ※4 咳、会話、呼吸によって発生した気流が、安静時の人体周辺における風速(0.1[m/s])以上の地点の範囲。

参考文献

文1) 笠原啓史, 村上周三, 加藤信介: 「マスク着用時の人体呼吸性状のCFD解析(その1): マスク内外の流れ性状と肺への負荷の検討」、日本建築学会学術講演梗概集, 2004年

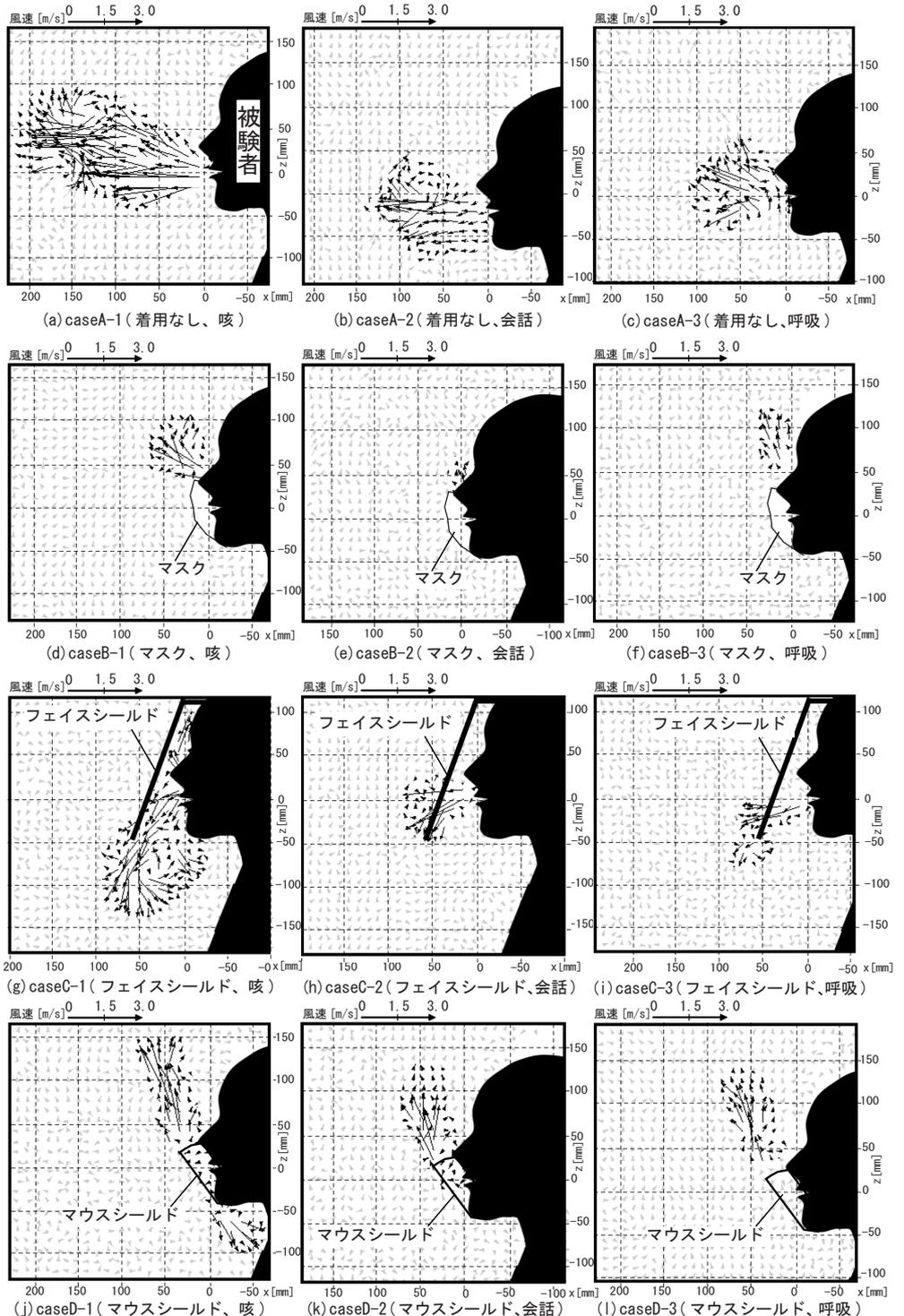


図2 咳、会話、呼吸による風速ベクトル分布