

咳、会話、呼吸により生じる 気流性状のPIV解析

指導教員 高橋 洋太
有波 裕貴 助教

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气中を浮遊・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。

新型感染症の世界的な流行に伴い、呼気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。

研究目的

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**文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。

※ 1 人体が呼吸を行う際に生じる吹出・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体の行動により影響範囲は変化するが、一般的には1～2[m]程度と考えられている。

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

研究目的

本研究では**粒子画像流速測定法**※² (PIV: Particle Image Verocimetry) を用い、呼気の状態、マスク等の状態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 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。

研究概要

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。

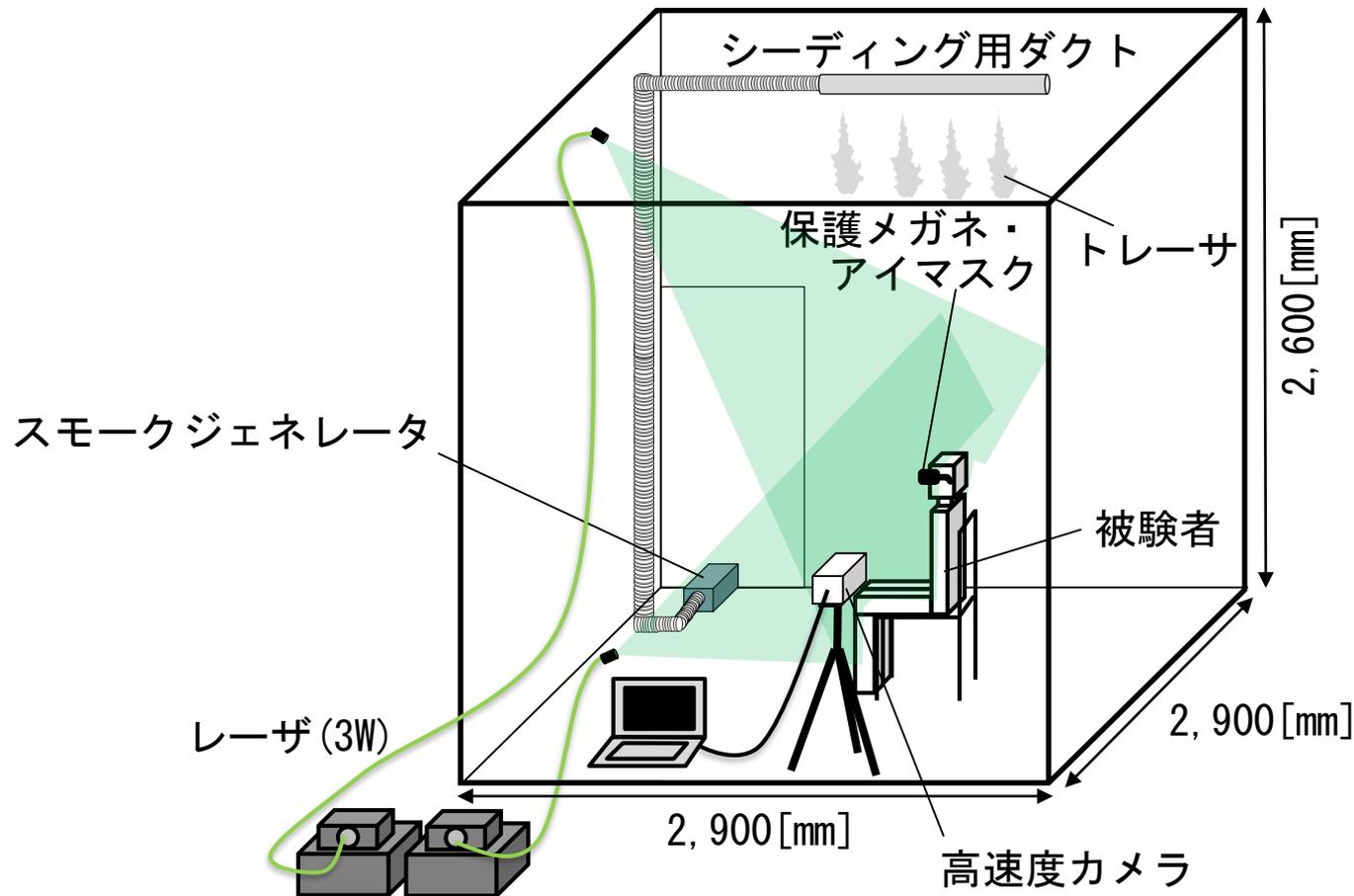


図1 実験機器と被験者※³の配置

※3 新潟大学倫理審査委員会で承認済み (2020-0076)

研究概要

被験者はマスク等の様々な条件で咳、会話※、呼吸を行う。

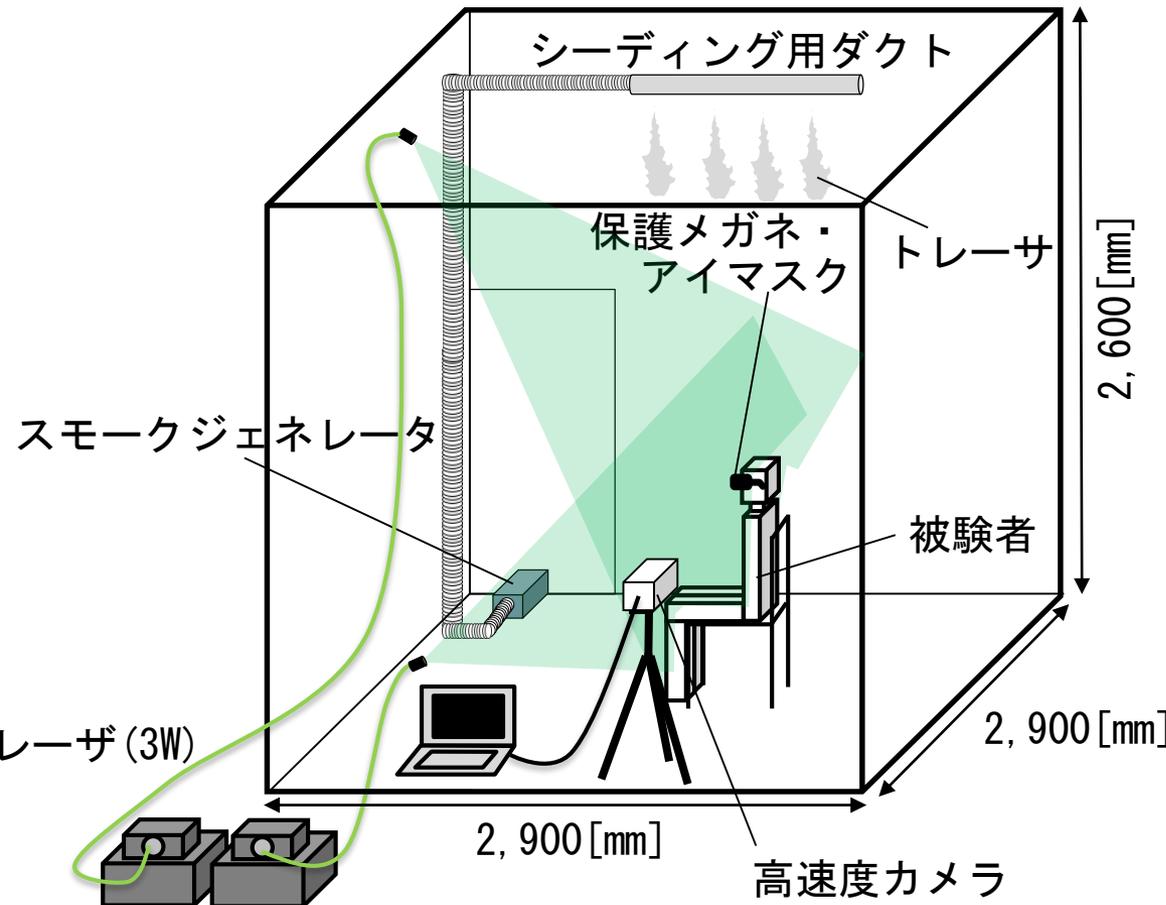


図 1 実験機器と被験者の配置

表 1 実験case

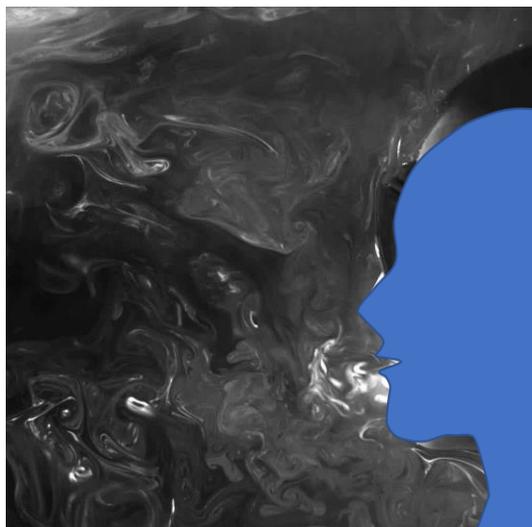
実験case	マスク等の条件	呼気の条件
caseA	着用なし	咳
		会話
		呼吸
caseB	マスク	咳
		会話
		呼吸
caseC	フェイスシールド	咳
		会話
		呼吸
caseD	マウスシールド	咳
		会話
		呼吸

※ 撮影開始から「one(ワン)・two(トゥー)・three(スリー)・four(フォー)」と発音する。

可視化・解析動画(マスク着用なし)



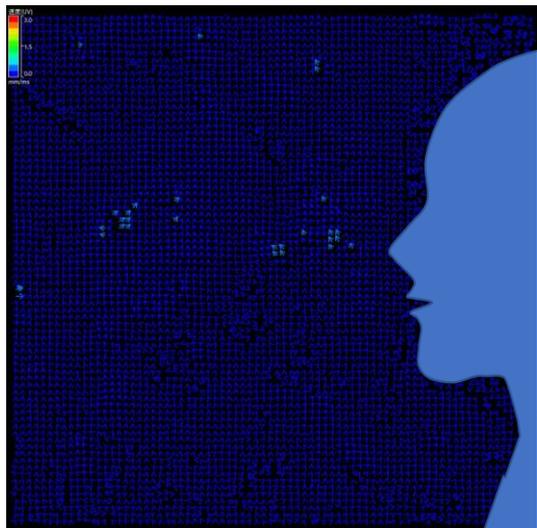
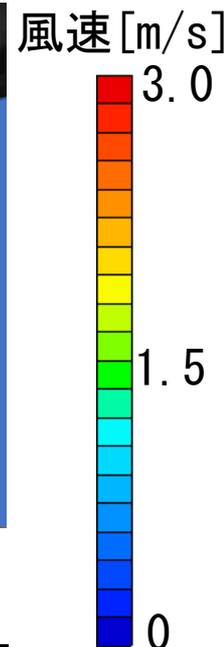
(a) caseA-1 (咳)



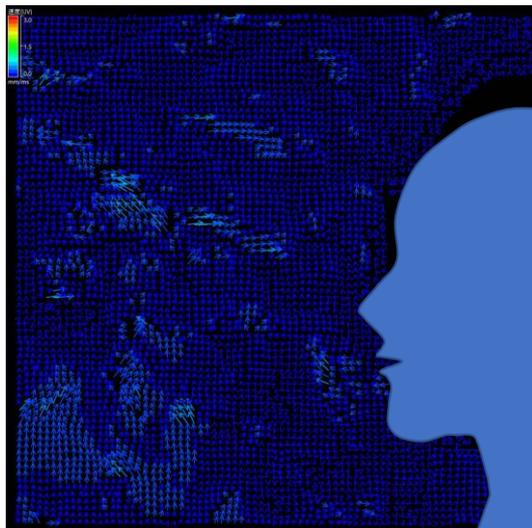
(b) caseA-2 (会話)
動画 可視化動画



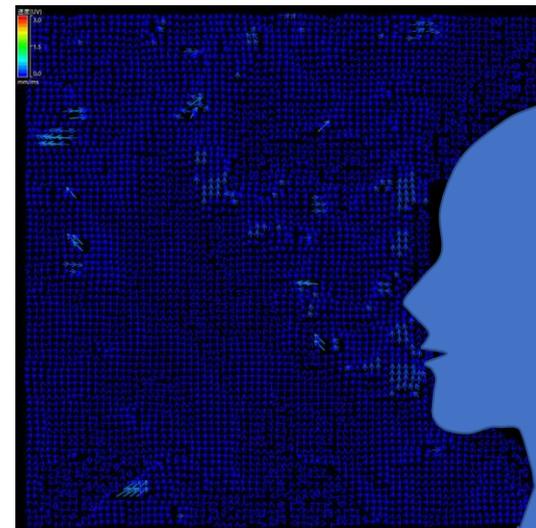
(c) caseA-3 (呼吸)



(a) caseA-1 (咳)



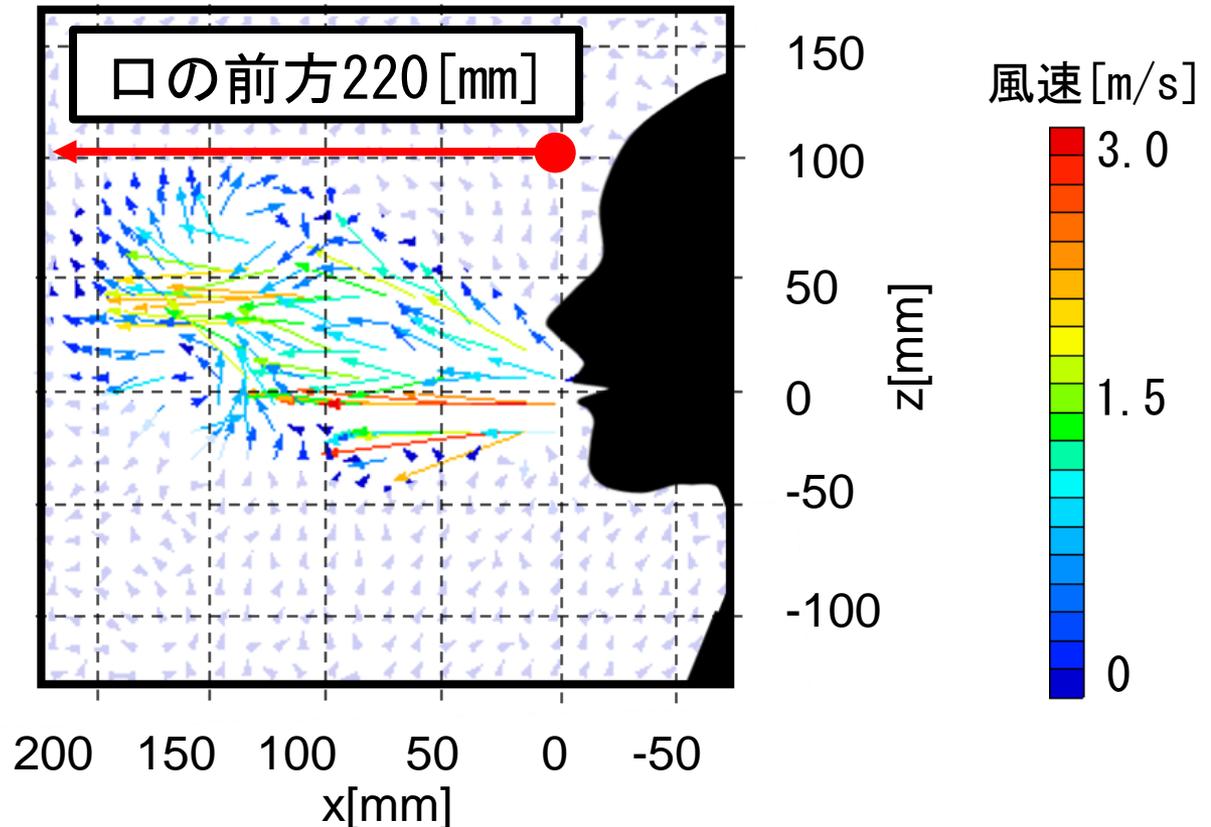
(b) caseA-2 (会話)
動画 解析動画



(c) caseA-3 (呼吸)

実験結果 (マスク等着用なし)

気流の影響範囲※⁴は、咳では**口の前方220 [mm]**程度の範囲に入り、風速は約**2.0~2.5 [m/s]**となる。



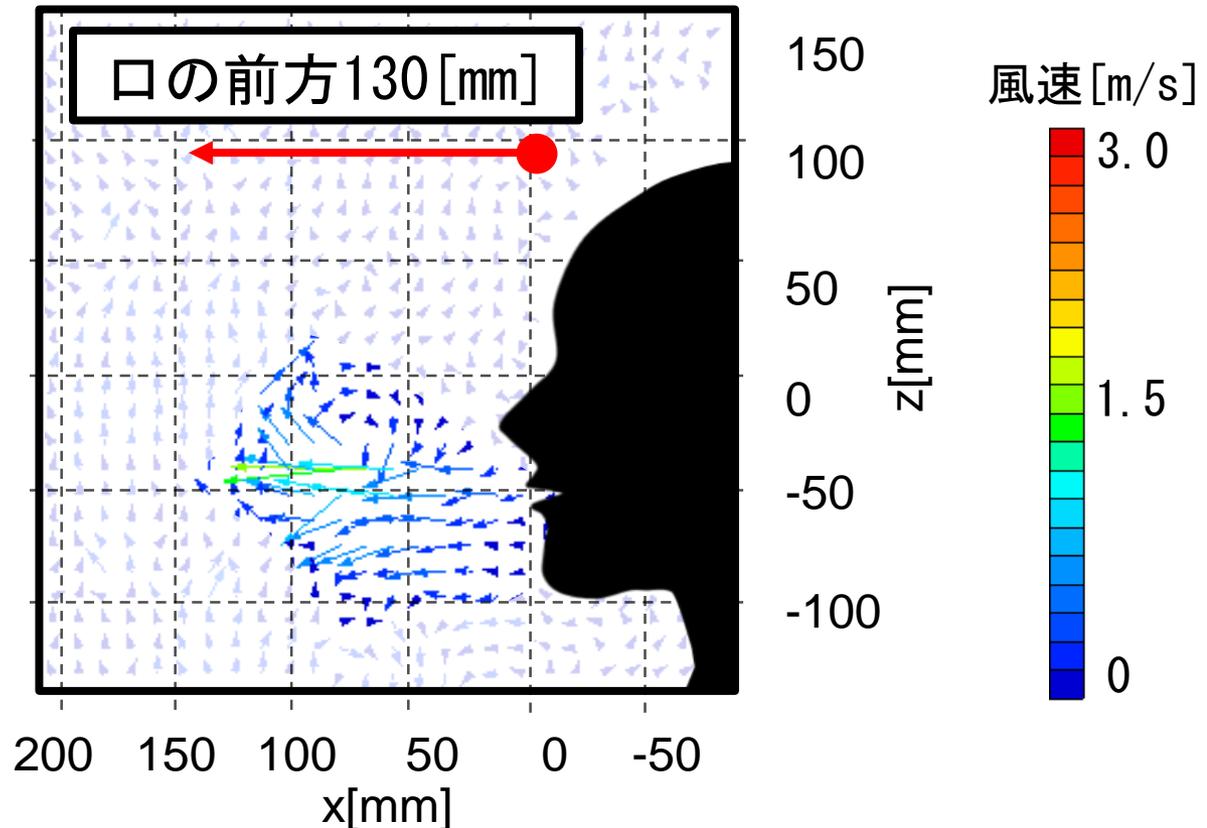
(a) caseA-1 (着用なし、咳)

図 2 咳、会話、呼吸による平均風速ベクトル分布

※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

実験結果 (マスク等着用なし)

気流の影響範囲※⁴は、会話では**口の前方130 [mm]**程度の範囲に入り、風速は約**0.5~1.0 [m/s]**となる。



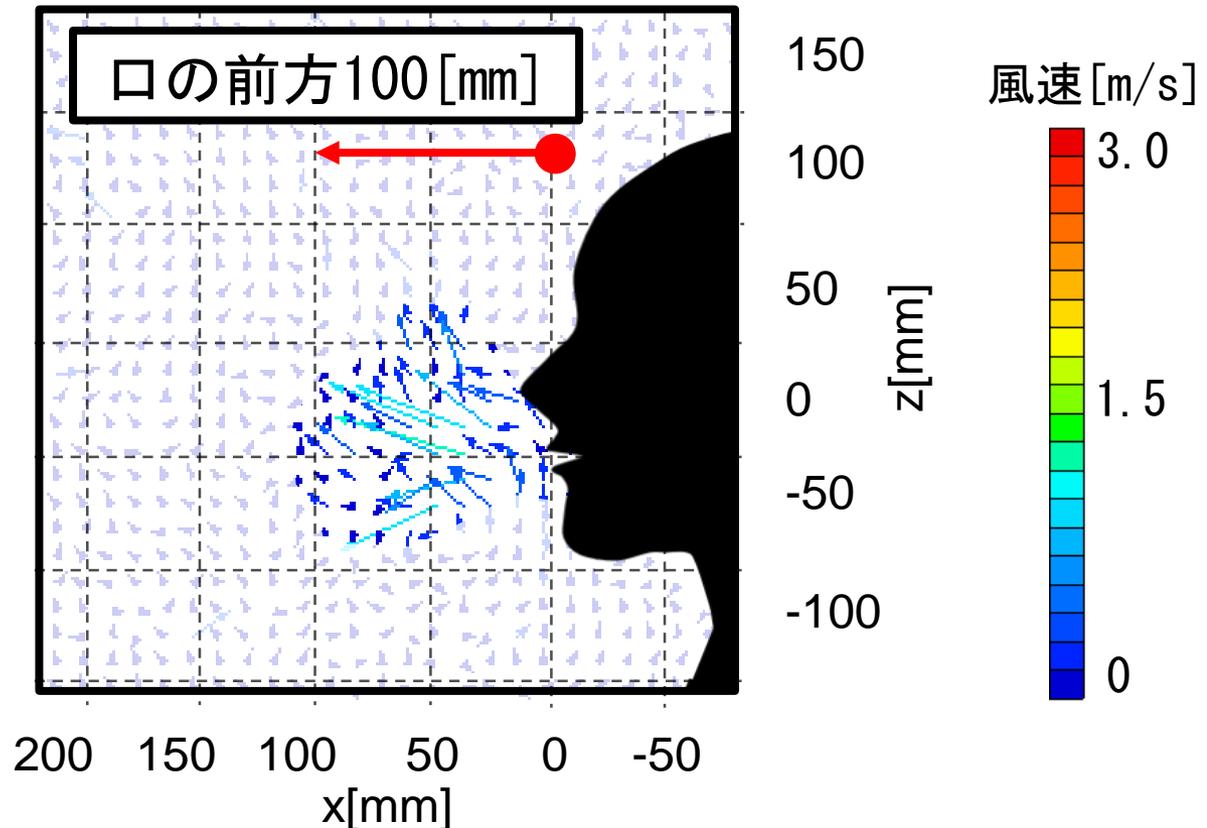
(b) caseA-2 (着用なし、会話)

図 2 咳、会話、呼吸による平均風速ベクトル分布

※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

実験結果 (マスク等着用なし)

気流の影響範囲※⁴は、呼吸では**口の前方100 [mm]**程度の範囲に入り、風速は約**1.0~1.5 [m/s]**となる。



(c) caseA-3 (着用なし、呼吸)

図 2 咳、会話、呼吸による平均風速ベクトル分布

※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

実験結果 (マスク等着用なし)

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。



風速約2.0倍

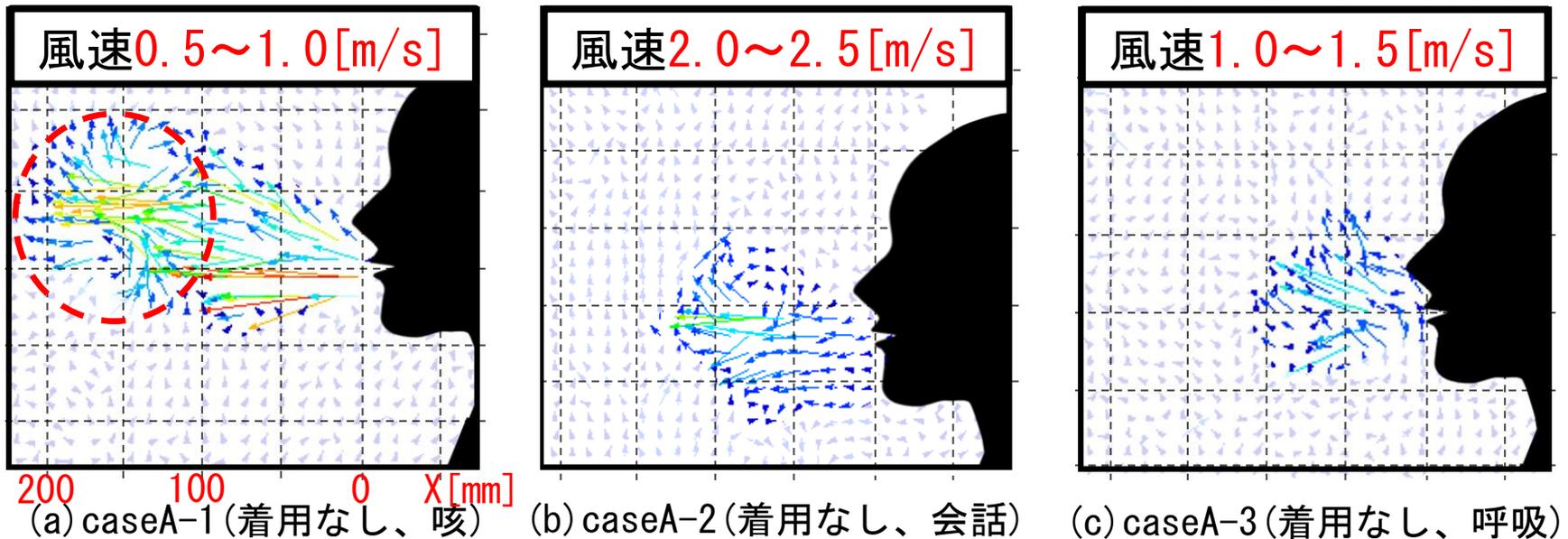
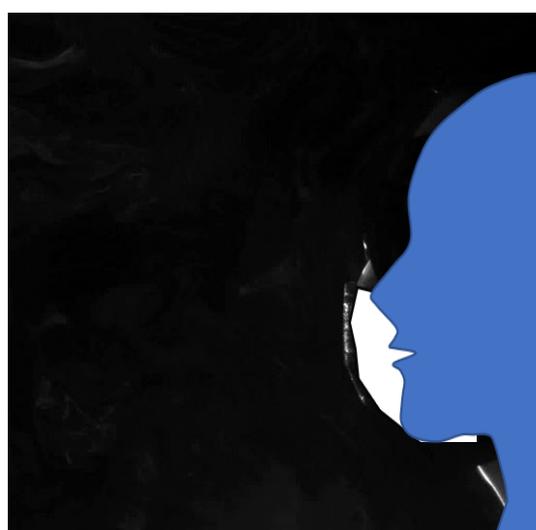


図2 咳、会話、呼吸による平均風速ベクトル分布 (caseA)

可視化・解析動画(マスク着用)



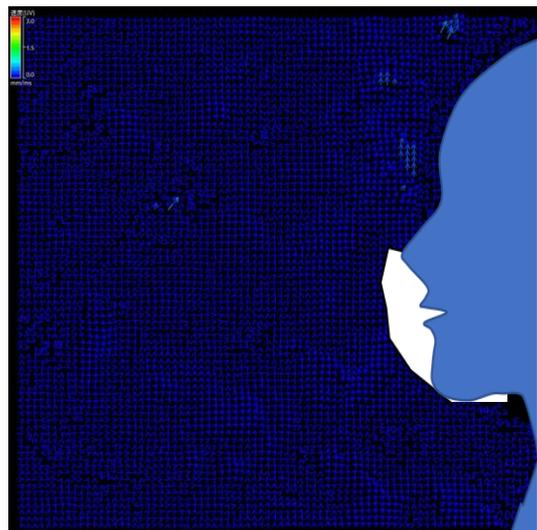
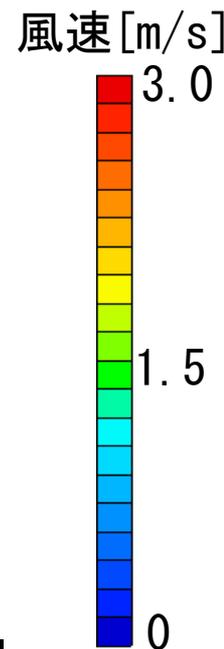
(d) caseB-1 (咳)



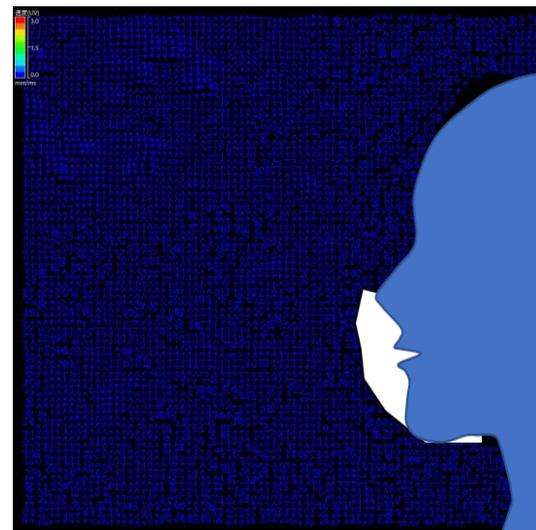
(e) caseB-2 (会話)
動画 可視化動画



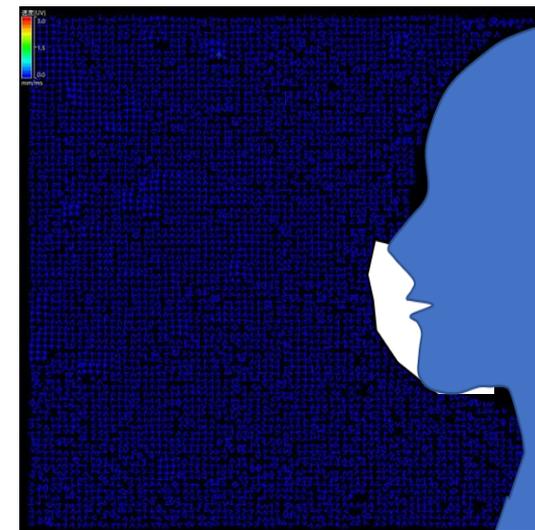
(f) caseB-3 (呼吸)



(d) caseB-1 (咳)



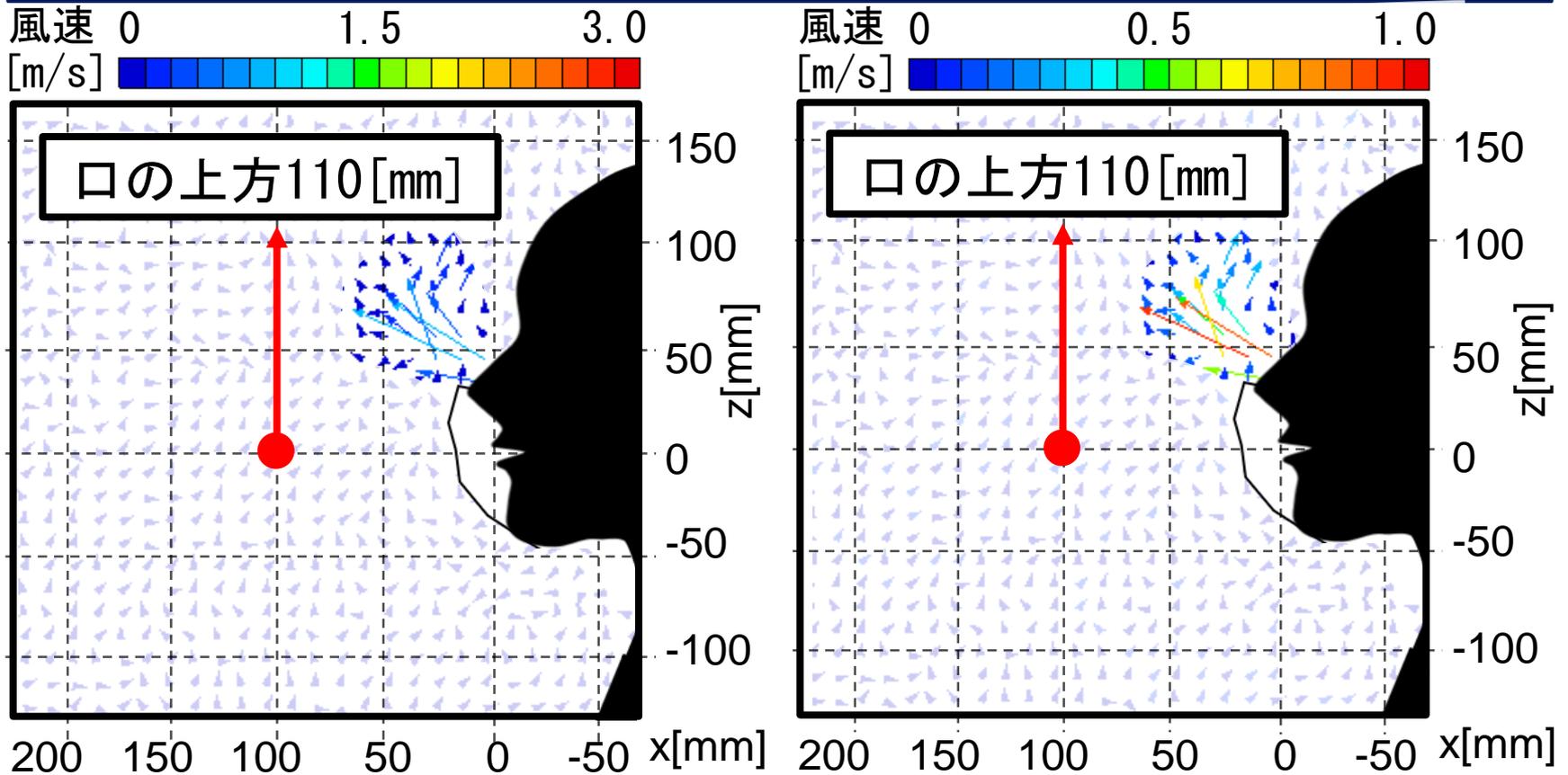
(e) caseB-2 (会話)
動画 解析動画



(f) caseB-3 (呼吸)

実験結果 (マスク着用)

気流の影響範囲※⁴は、咳では**口の上方110 [mm]**程度の範囲に入り、風速は約**0.5~1.0 [m/s]**となる。



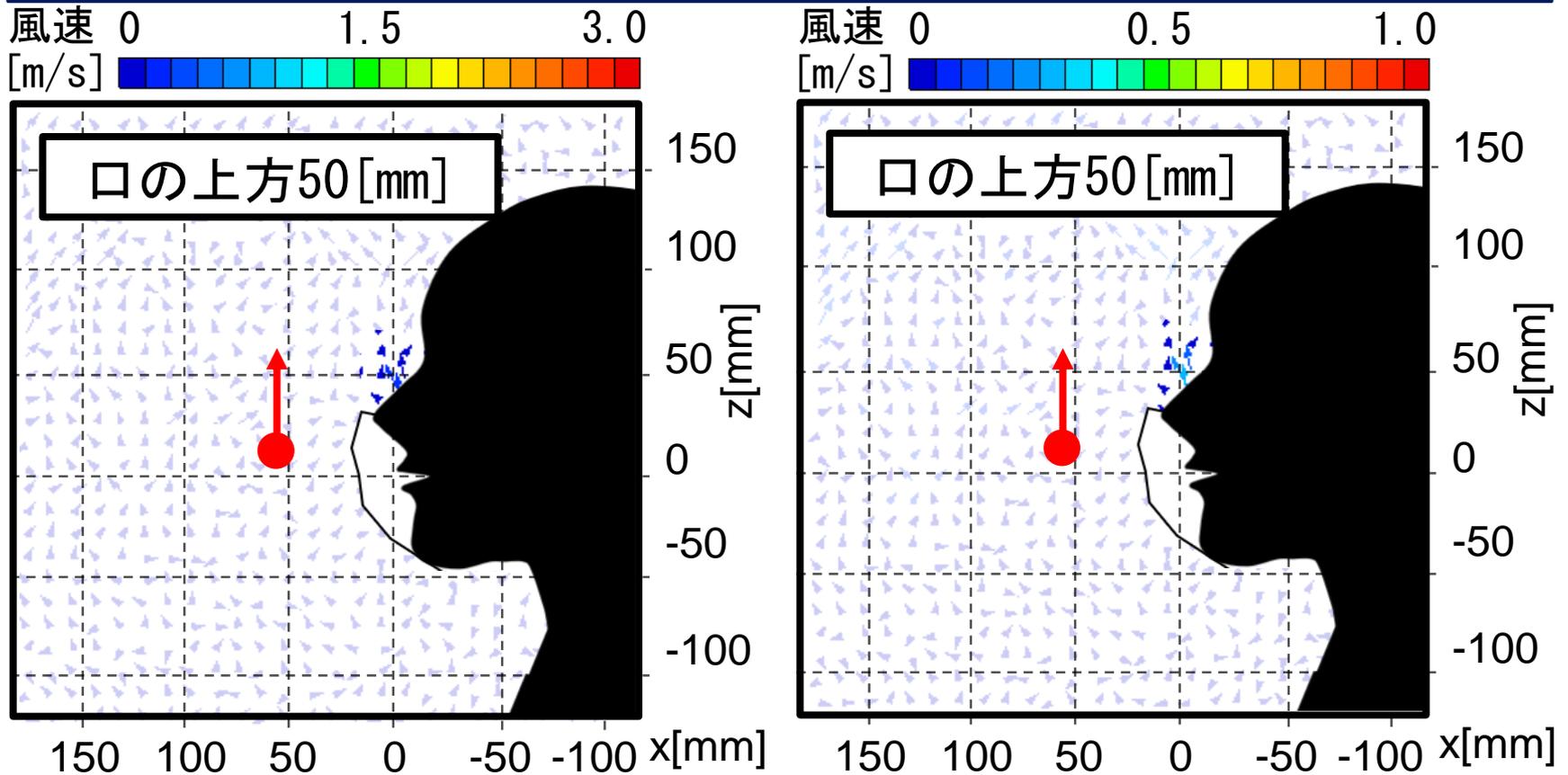
(d) caseB-1 (マスク、咳)

図2 咳、会話、呼吸による平均風速ベクトル分布

※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

実験結果 (マスク着用)

気流の影響範囲※4は、会話では**口の上方50 [mm]**程度の範囲に入り、風速は約**0.1~0.2 [m/s]**となる。



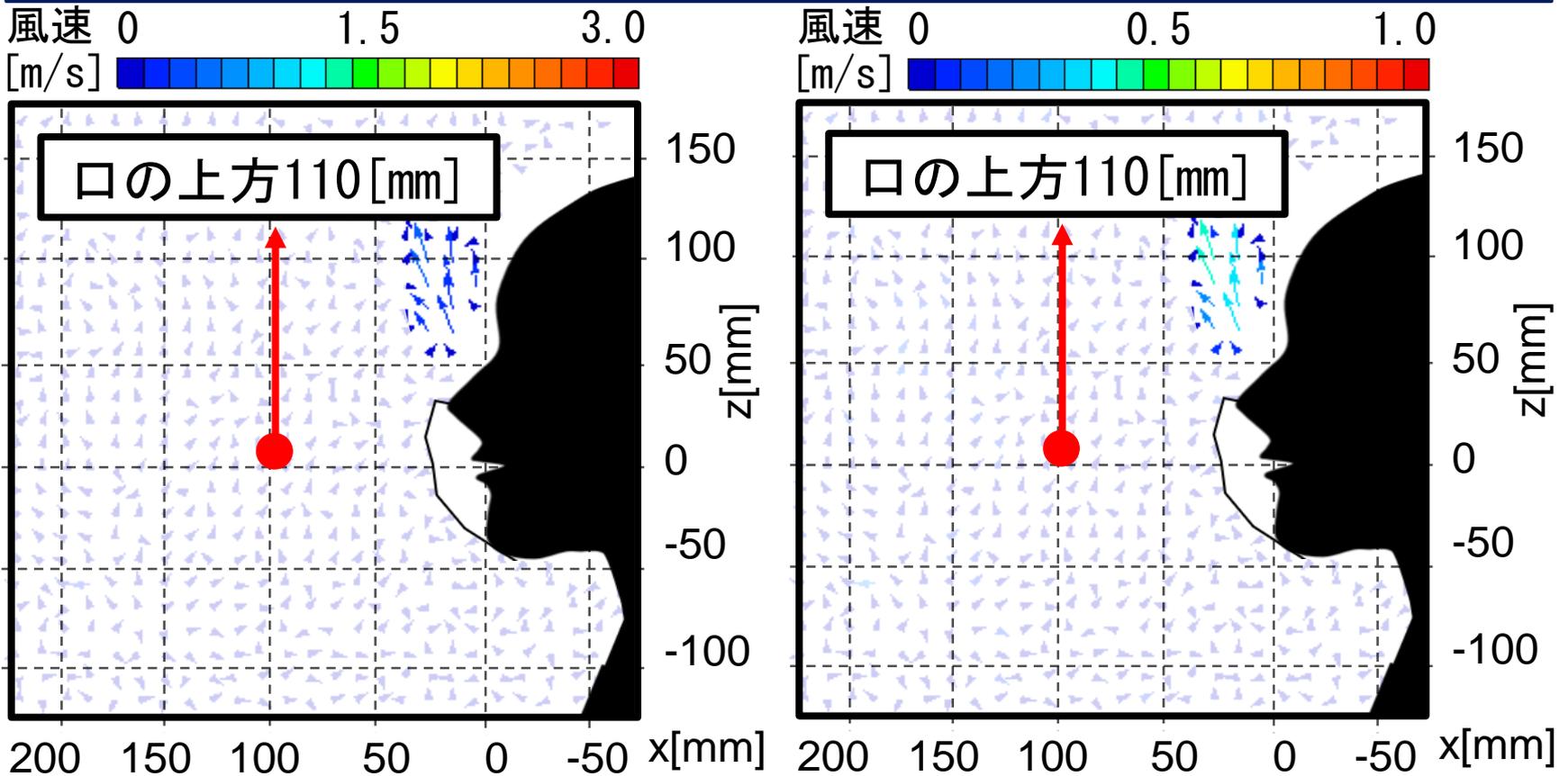
(e) caseB-2 (マスク、会話)

図2 咳、会話、呼吸による平均風速ベクトル分布

※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

実験結果 (マスク着用)

気流の影響範囲※⁴は、呼吸では**口の上方110 [mm]**程度の範囲に入り、風速は約**0.2~0.4 [m/s]**となる。



(f) caseB-3 (マスク、呼吸)

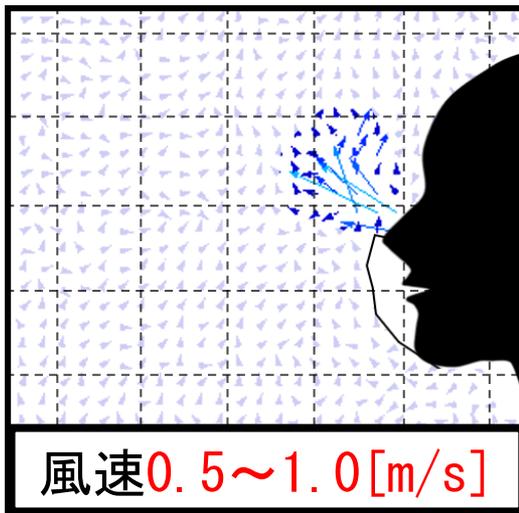
図2 咳、会話、呼吸による平均風速ベクトル分布

※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

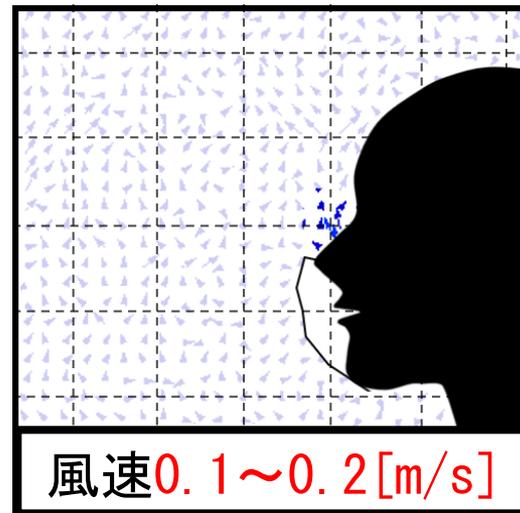
実験結果 (マスク着用)

マスクを着用すると風速は極めて遅くなる。

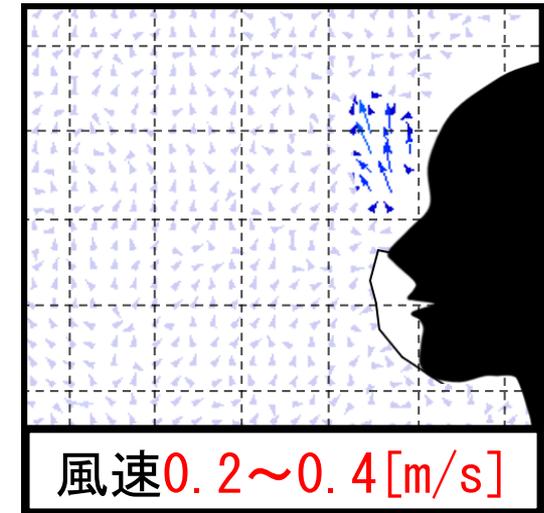
風速 0 1.5 3.0
[m/s]



(d) caseB-1 (マスク、咳)



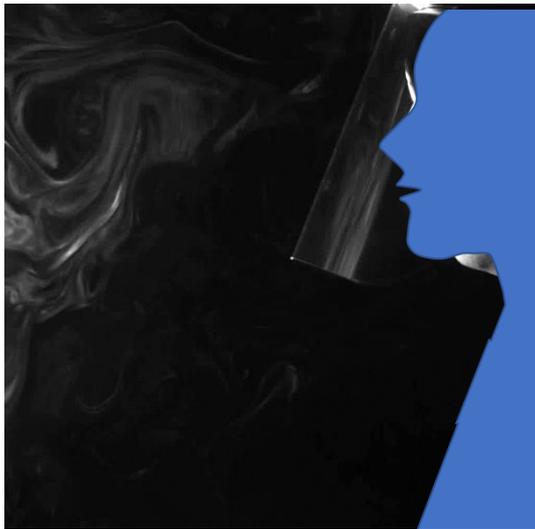
(e) caseB-2 (マスク、会話)



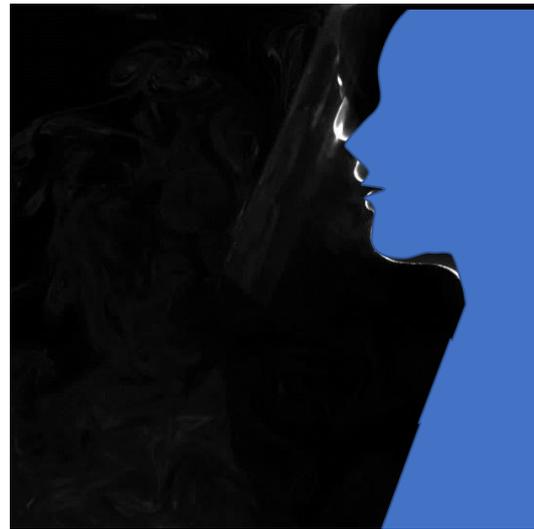
(f) caseB-3 (マスク、呼吸)

図2 咳、会話、呼吸による平均風速ベクトル分布 (caseB)

可視化・解析動画(フェイスシールド着用)



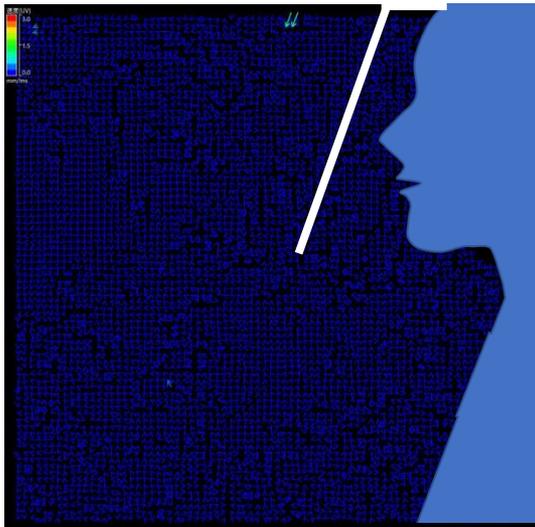
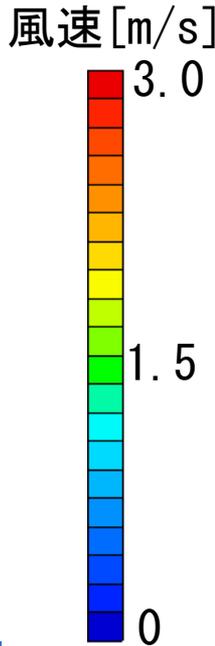
(g) caseC-1 (咳)



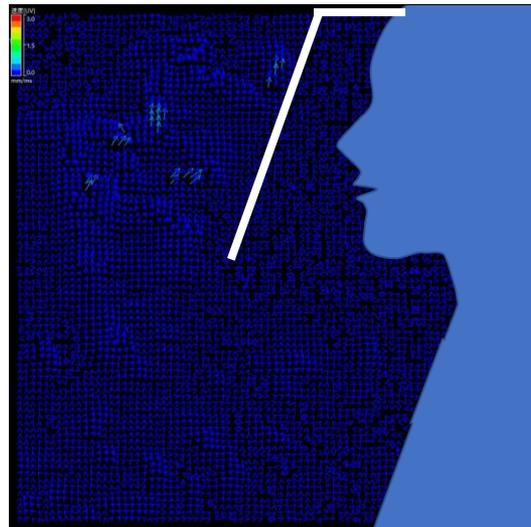
(h) caseC-2 (会話)
動画 可視化動画



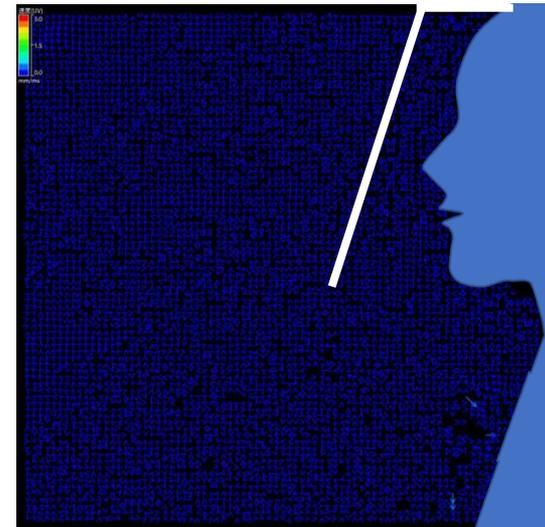
(i) caseC-3 (呼吸)



(g) caseC-1 (咳)



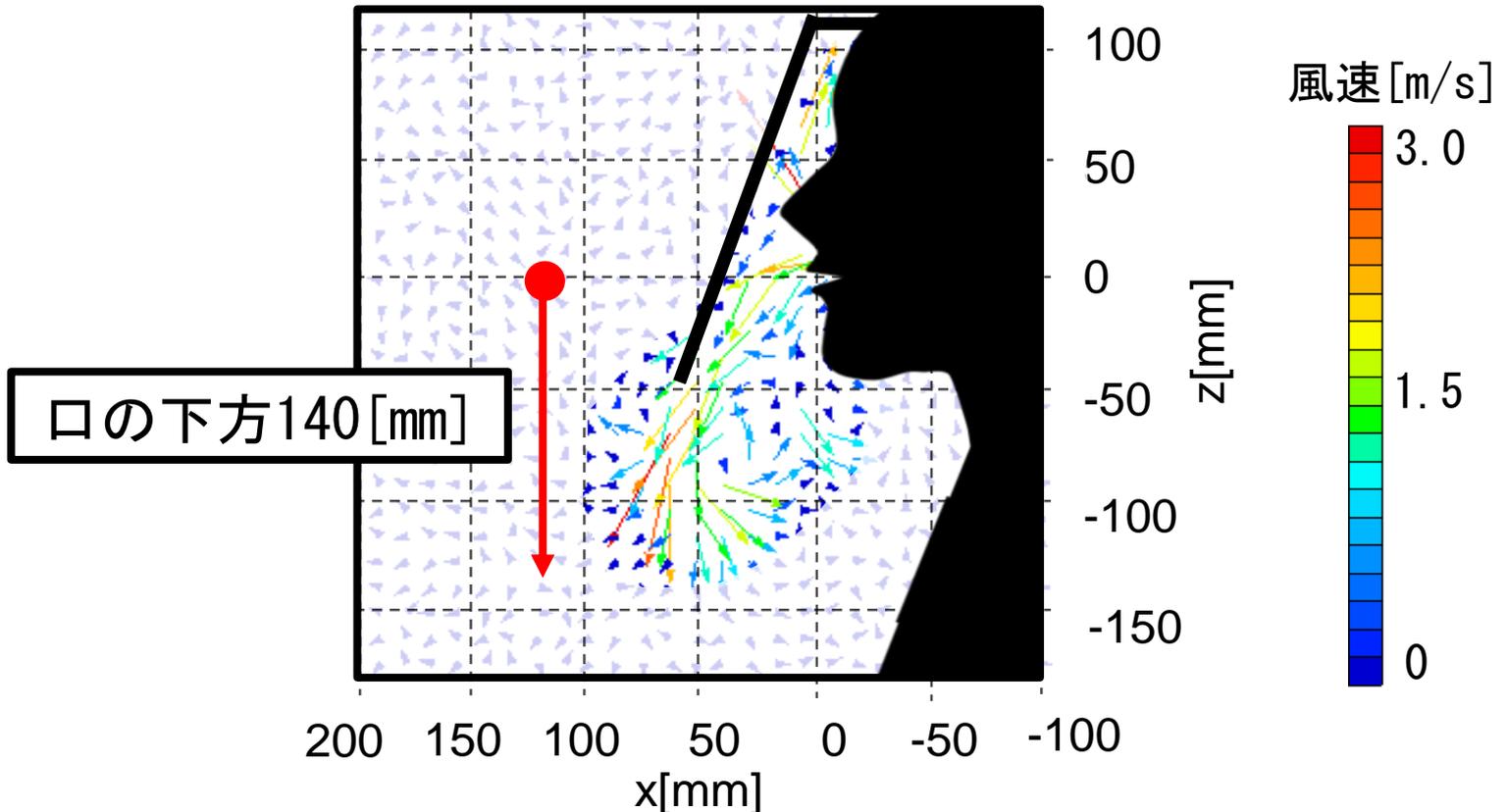
(h) caseC-2 (会話)
動画 解析動画



(i) caseC-3 (呼吸)

実験結果 (フェイスシールド着用)

気流の影響範囲※4は、咳では**口の下方140 [mm]**程度の範囲に入り、風速は約**2.0~2.5 [m/s]**となる。



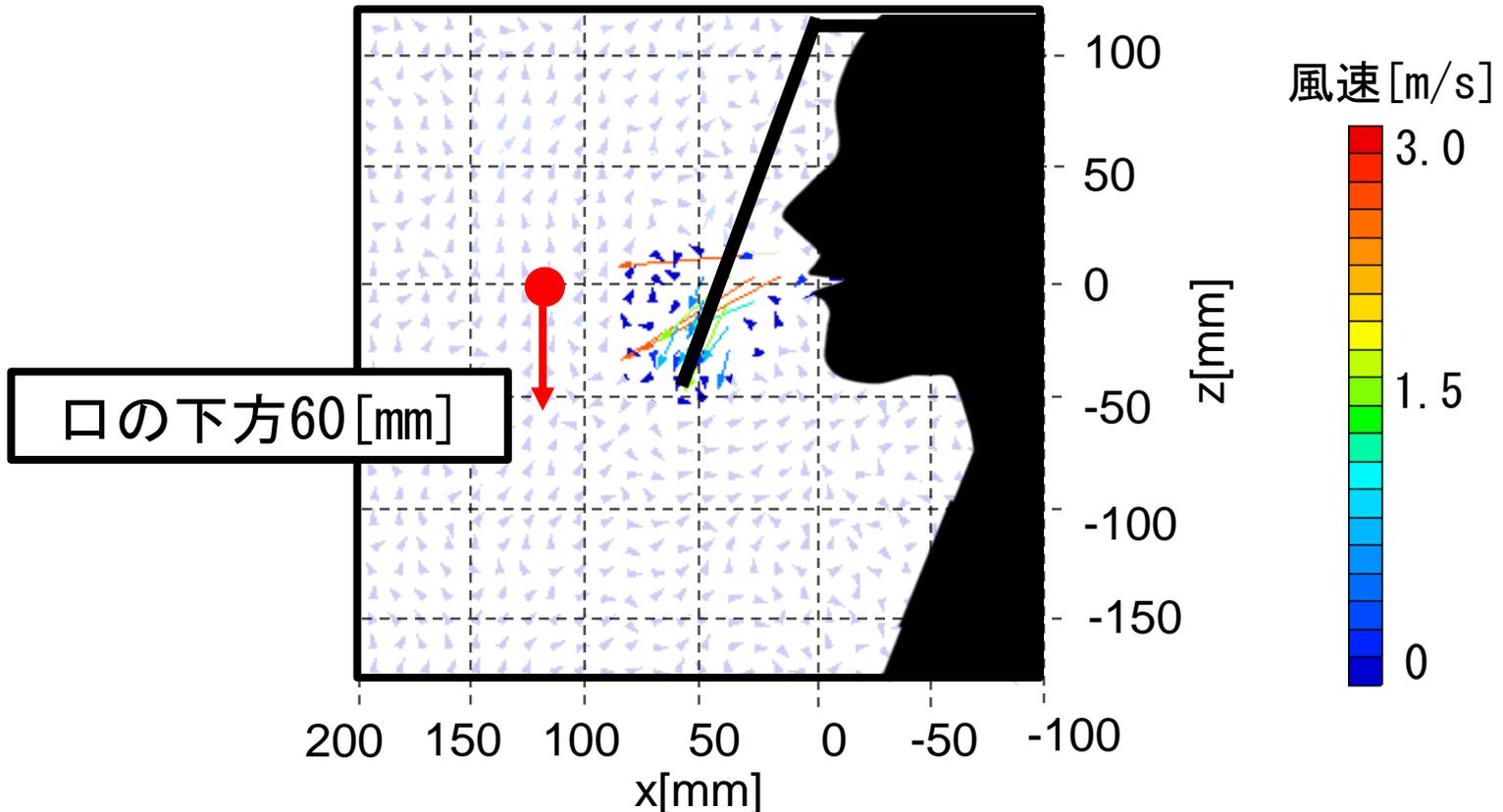
(g) caseC-1 (フェイスシールド、咳)

図2 咳、会話、呼吸による平均風速ベクトル分布

※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

実験結果 (フェイスシールド着用)

気流の影響範囲※4は、会話では口の下方60 [mm] 程度の範囲に入り、風速は約1.5~2.0 [m/s] となる。



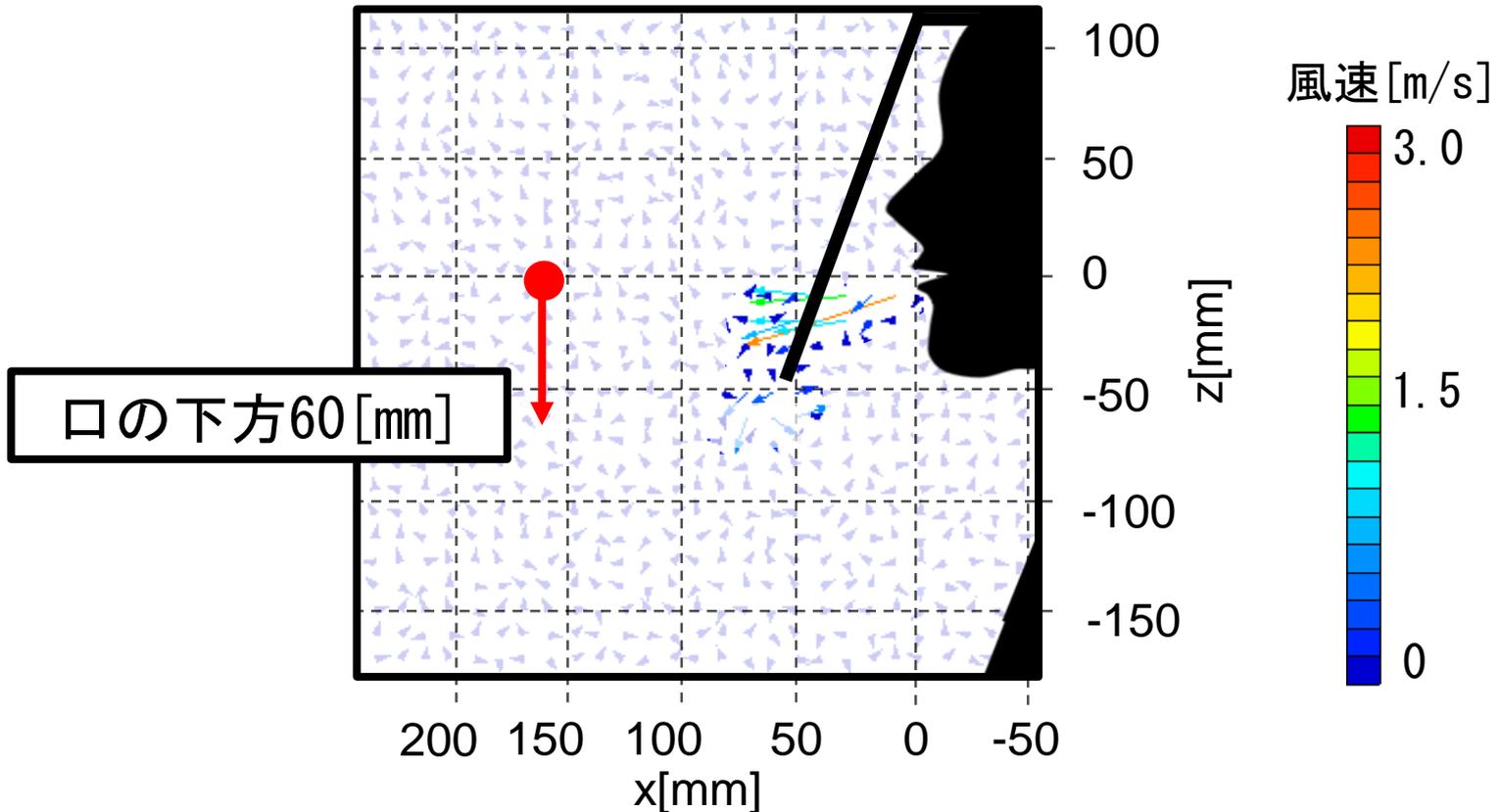
(h) caseC-2 (フェイスシールド、会話)

図2 咳、会話、呼吸による平均風速ベクトル分布

※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

実験結果 (フェイスシールド着用)

気流の影響範囲※4は、呼吸では口の下方60 [mm] 程度の範囲に入り、風速は約1.5~2.0 [m/s] となる。



(i) caseC-3 (フェイスシールド、呼吸)

図2 咳、会話、呼吸による平均風速ベクトル分布

※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

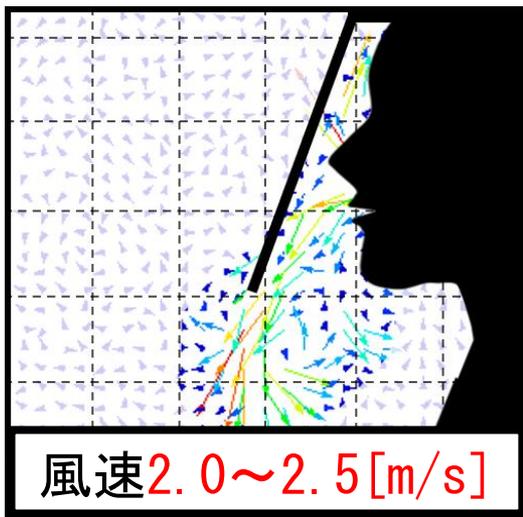
実験結果 (フェイスシールド着用)

咳は会話や呼吸の約**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。

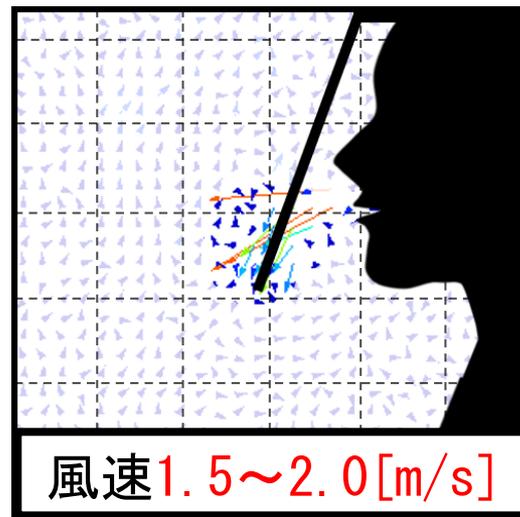
風速 0 1.5 3.0
[m/s]



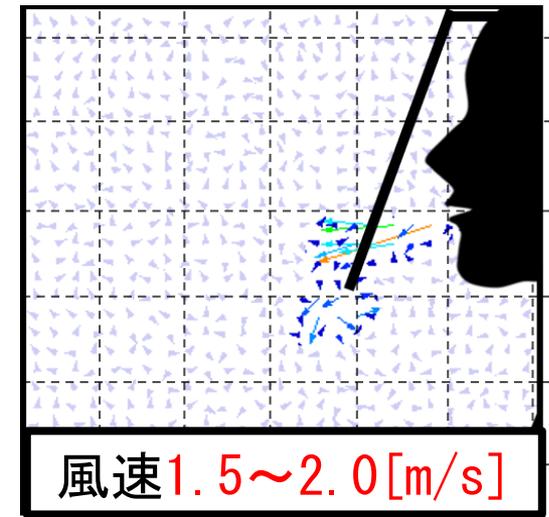
風速約**1.3倍**



(g) caseC-1
(フェイスシールド、咳)



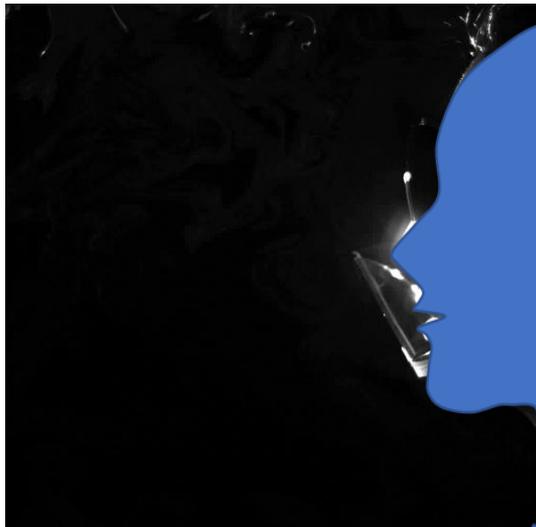
(h) caseC-2
(フェイスシールド、会話)



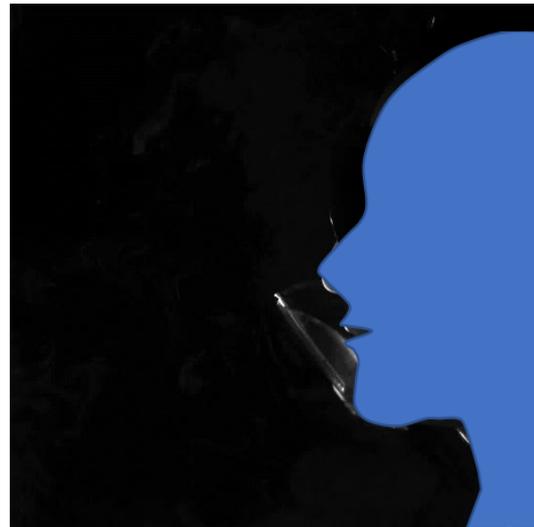
(i) caseC-3
(フェイスシールド、呼吸)

図2 咳、会話、呼吸による平均風速ベクトル分布 (caseC)

可視化・解析動画 (マウスシールド着用)



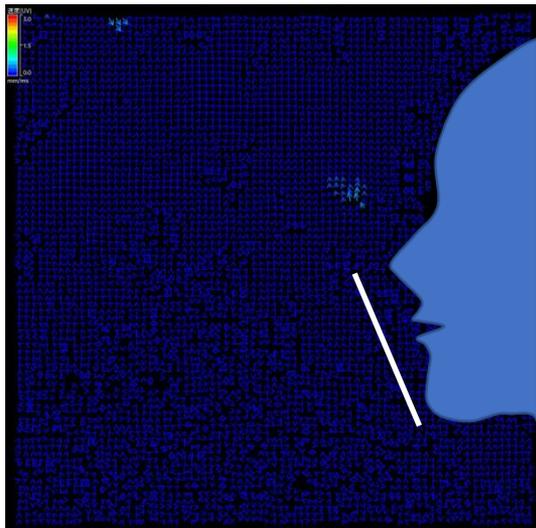
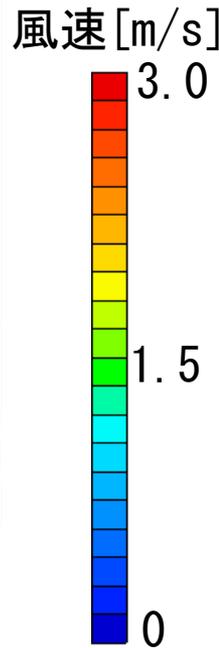
(j) caseD-1 (咳)



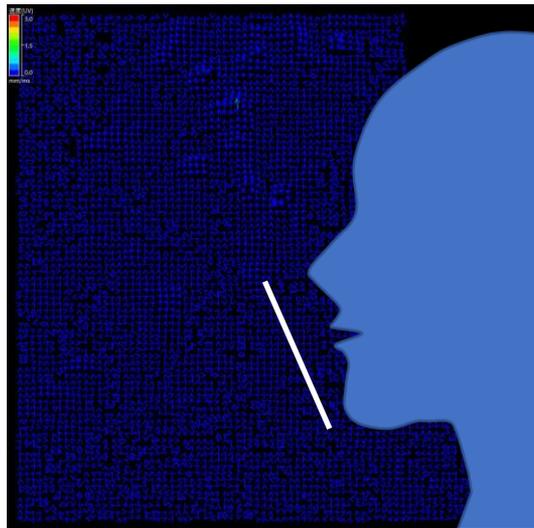
(k) caseD-2 (会話)
動画 可視化動画



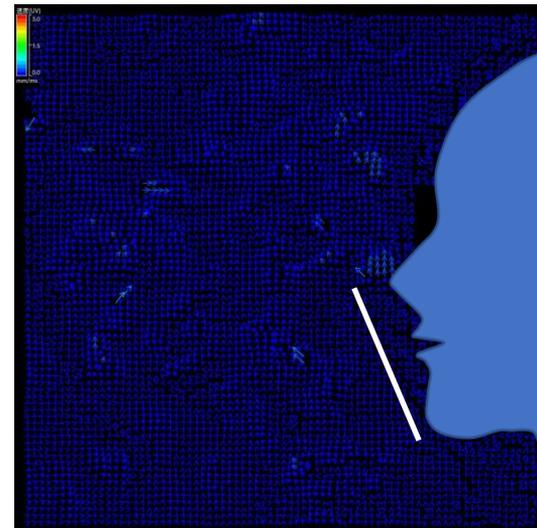
(l) caseD-3 (呼吸)



(j) caseD-1 (咳)



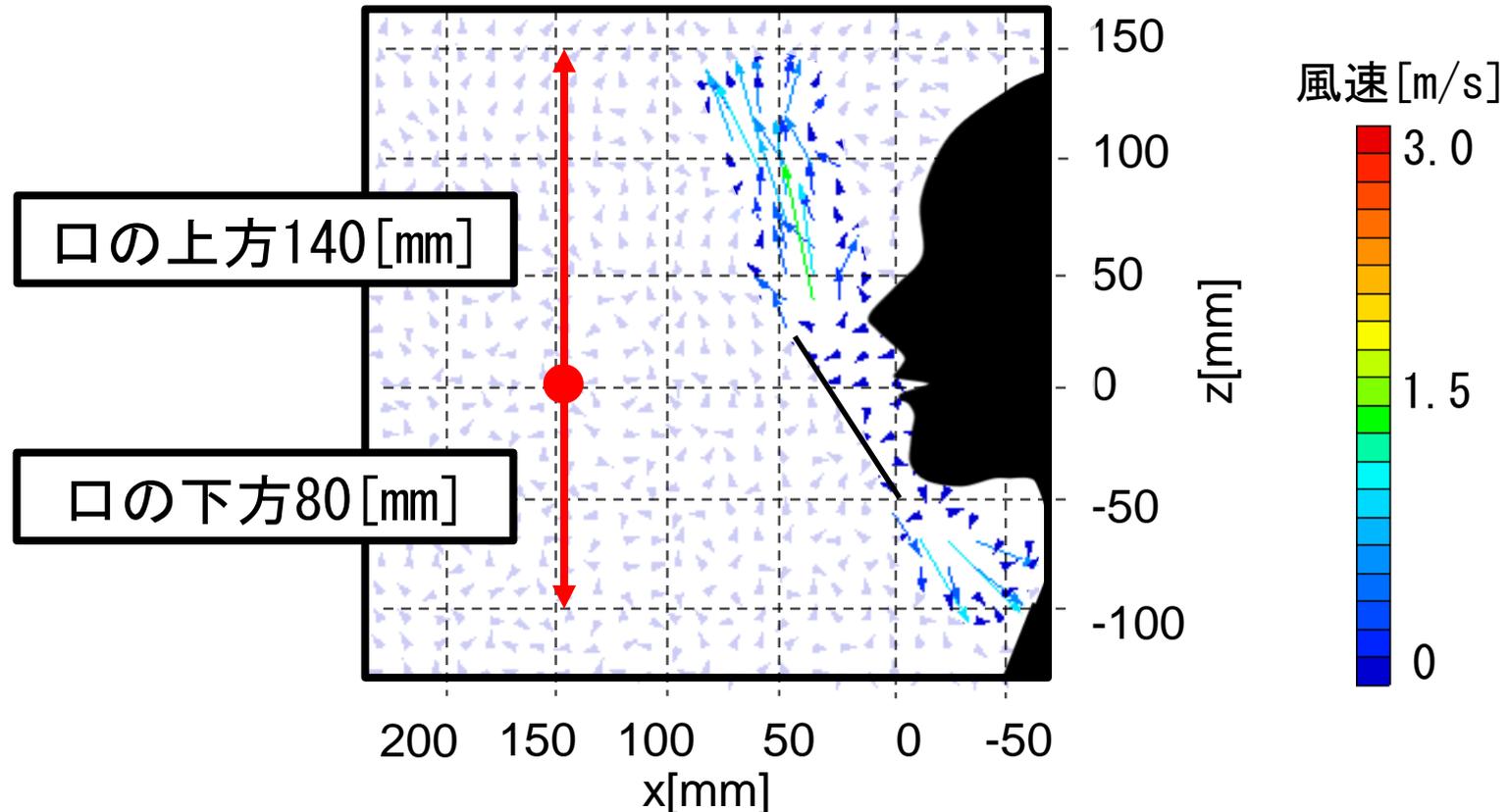
(k) caseD-2 (会話)
動画 解析動画



(l) caseD-3 (呼吸)

実験結果 (マウスシールド着用)

気流の影響範囲※4は、咳では**口の上方140 [mm]**と**口の下方80 [mm]**程度の範囲に入り、風速は約**1.0~1.5 [m/s]**となる。



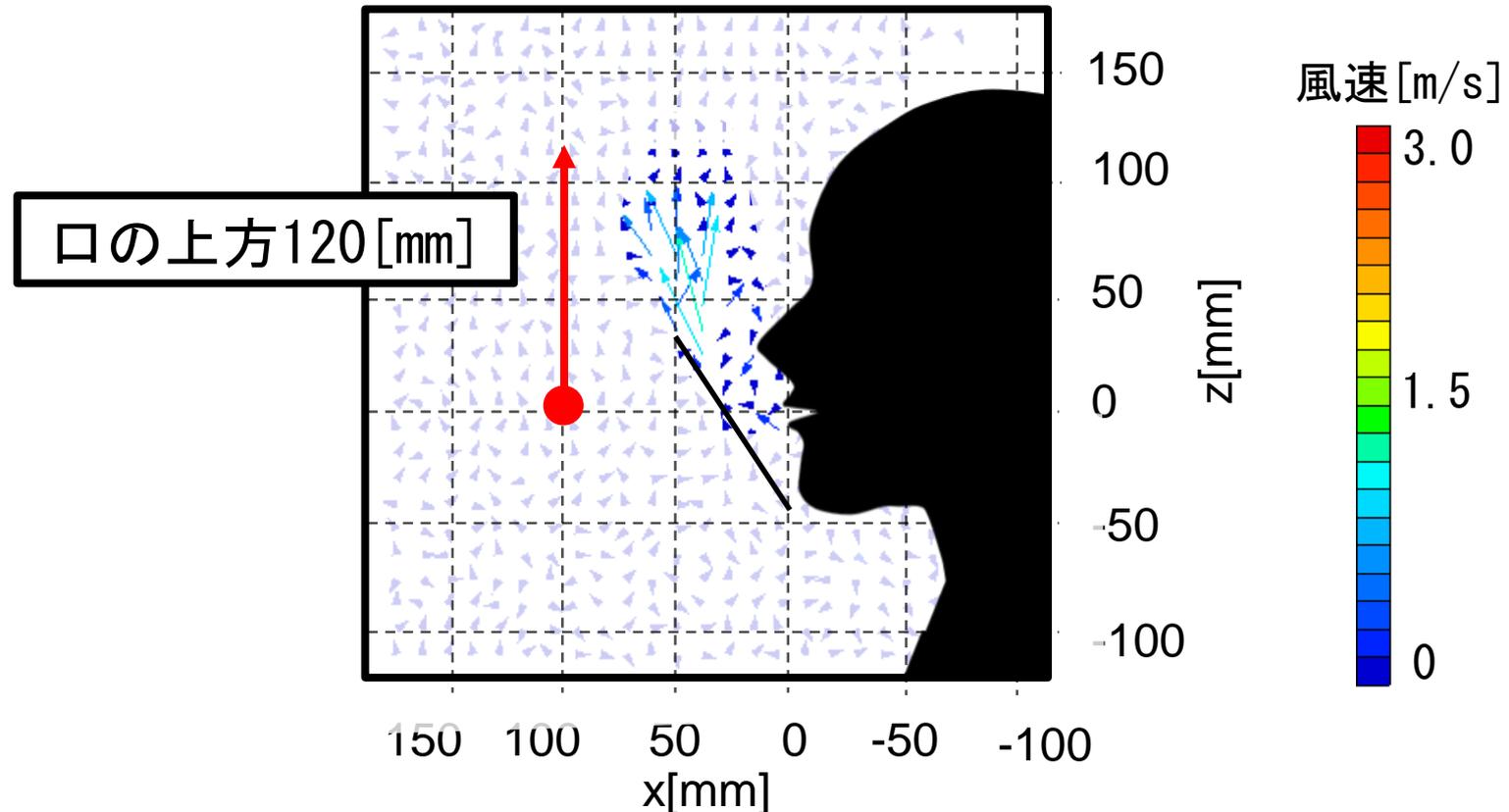
(j) caseD-1 (マウスシールド、咳)

図2 咳、会話、呼吸による平均風速ベクトル分布

※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

実験結果 (マウスシールド着用)

気流の影響範囲※⁴は、会話では**口の上方120 [mm]**程度の範囲に入り、風速は約**0.5~1.0 [m/s]**となる。



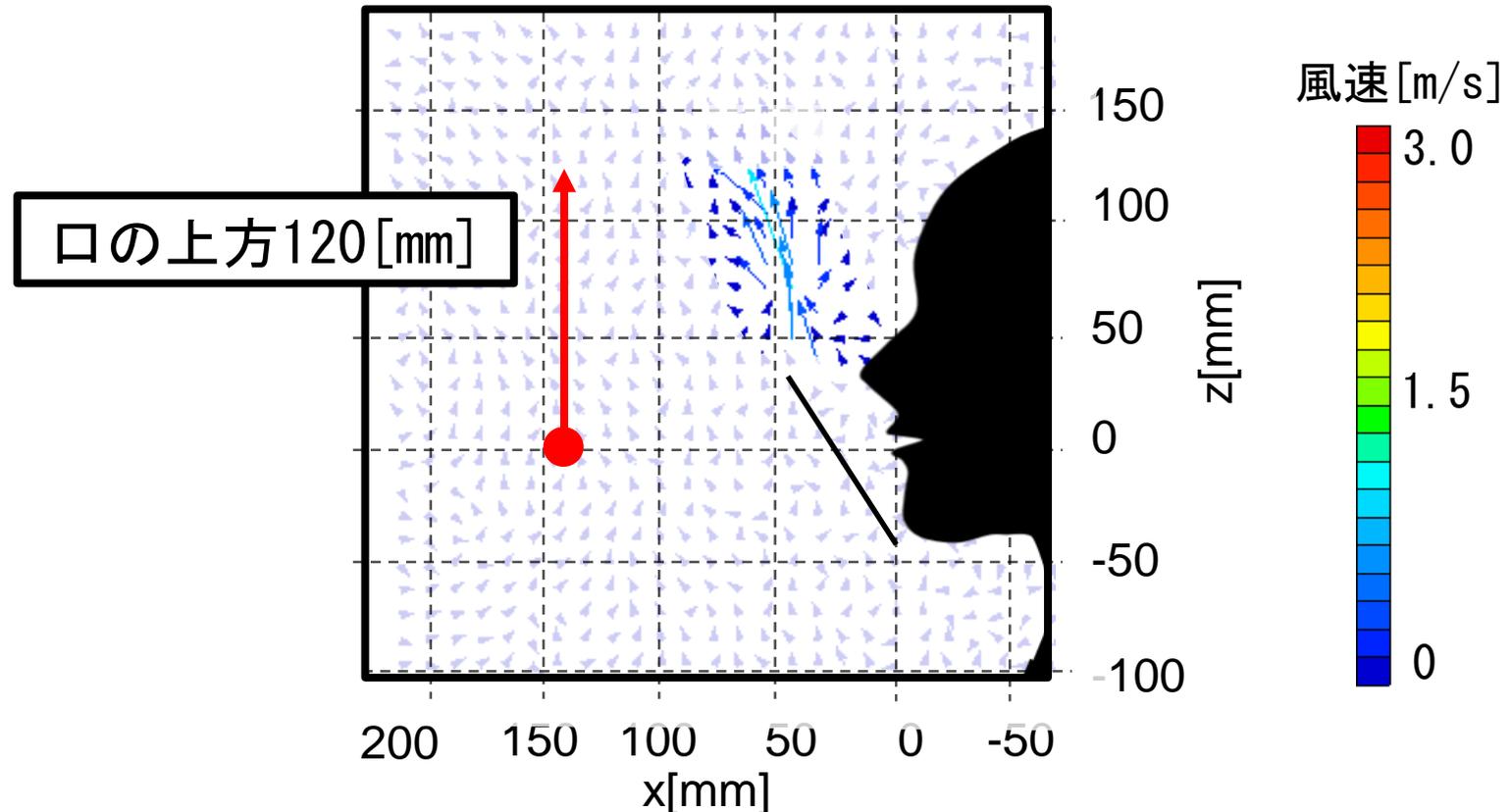
(k) caseD-2 (マウスシールド、会話)

図 2 咳、会話、呼吸による平均風速ベクトル分布

※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

実験結果 (マウスシールド着用)

気流の影響範囲※⁴は、呼吸では**口の上方120 [mm]**程度の範囲に入り、風速は約**0.5~1.0 [m/s]**となる。



(I) caseD-3 (マウスシールド、呼吸)

図 2 咳、会話、呼吸による平均風速ベクトル分布

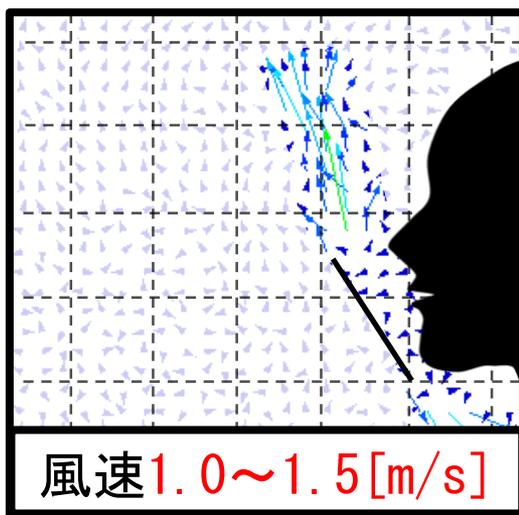
※⁴ 咳、会話、呼吸によって発生した気流が、安静時の人体周辺における風速(0.1 [m/s])以上の地点の範囲

実験結果 (マウスシールド着用)

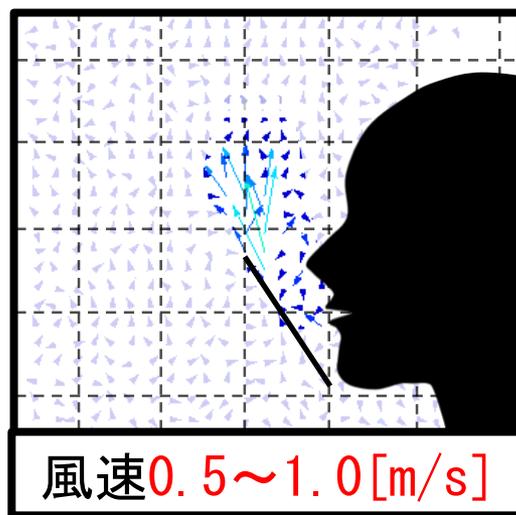
咳は会話や呼吸の約1.7倍程度の風速となり、マウスシールドの上方と下方に気流が生じる。



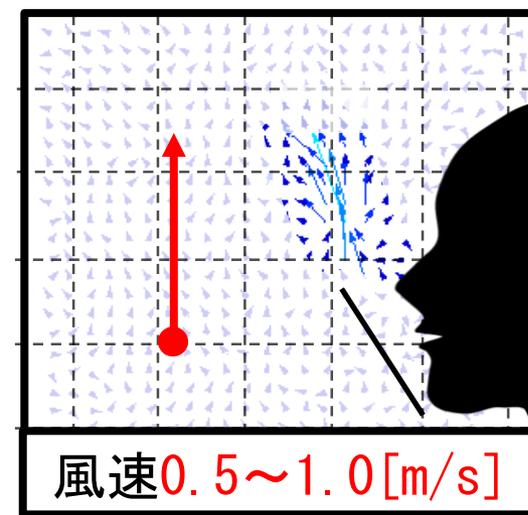
風速約1.7倍



(j) caseD-1
(マウスシールド、咳)



(k) caseD-2
(マウスシールド、会話)

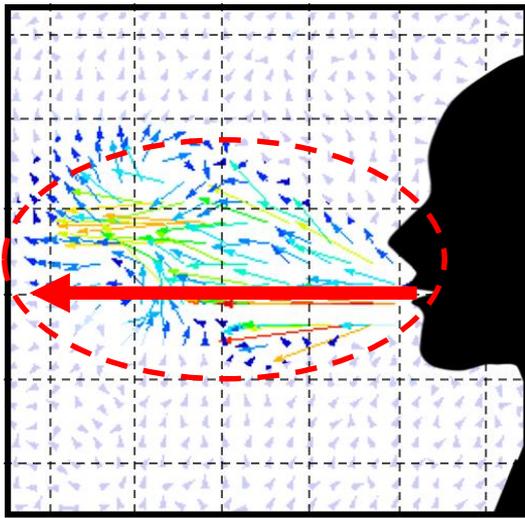
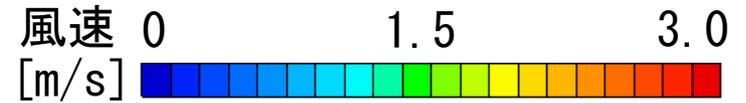


(l) caseD-3
(マウスシールド、呼吸)

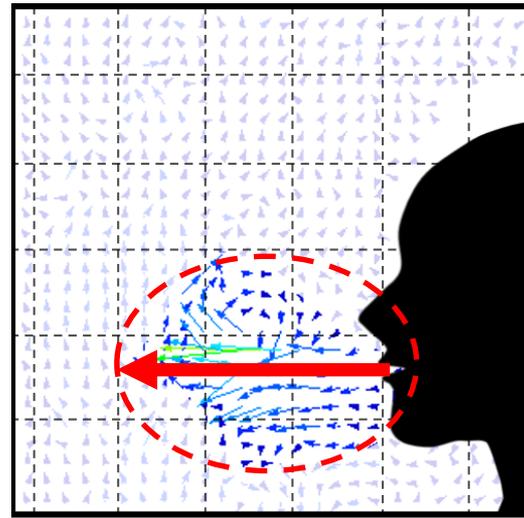
図2 咳、会話、呼吸による平均風速ベクトル分布 (caseD)

マスク、フェイスシールド、マウスシールドの比較

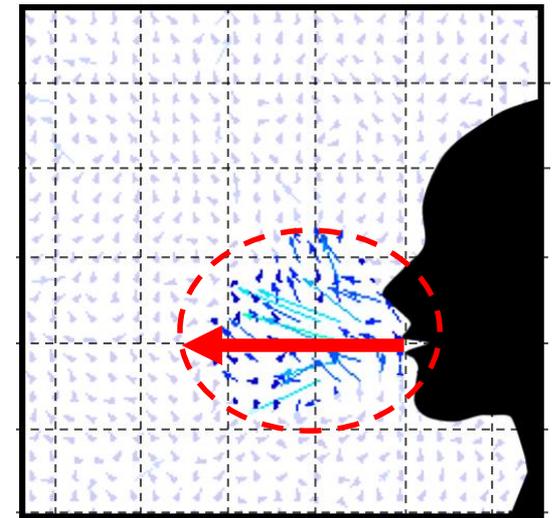
マスク等の着用がない場合、気流は**主に口の前方に**、



(a) caseA-1 (着用なし、咳)



(b) caseA-2 (着用なし、会話)

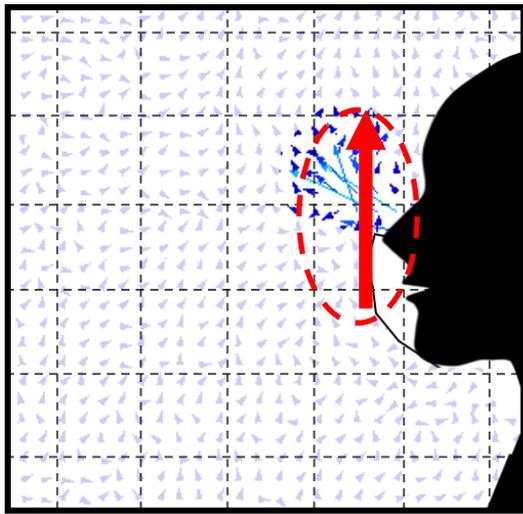
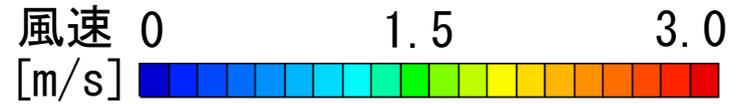


(c) caseA-3 (着用なし、呼吸)

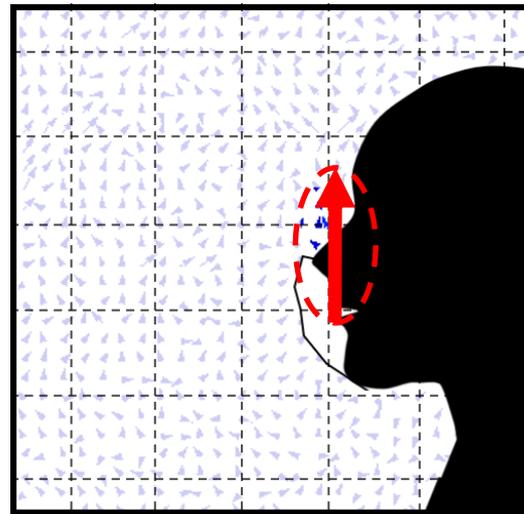
図2 咳、会話、呼吸による平均風速ベクトル分布 (caseA)

マスク、フェイスシールド、マウスシールドの比較

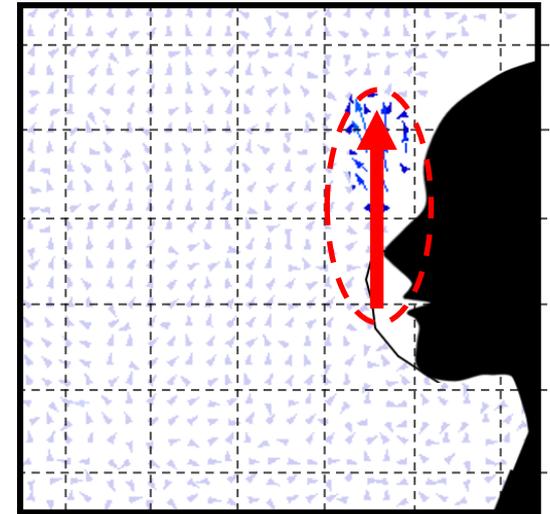
マスク着用では、気流は**主に口の上**方に、



(d) caseB-1 (マスク、咳)



(e) caseB-2 (マスク、会話)

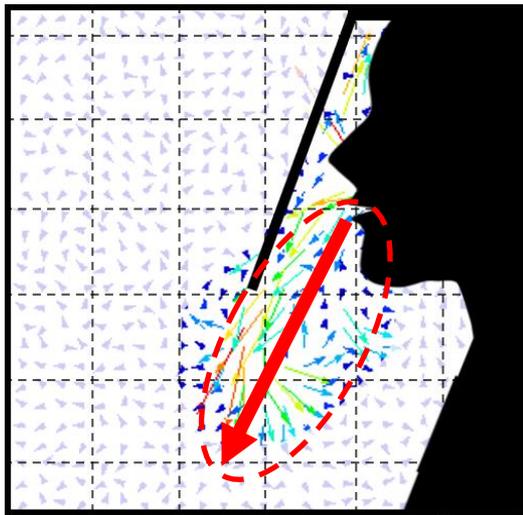
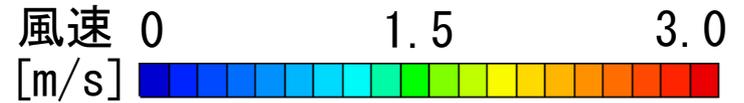


(f) caseB-3 (マスク、呼吸)

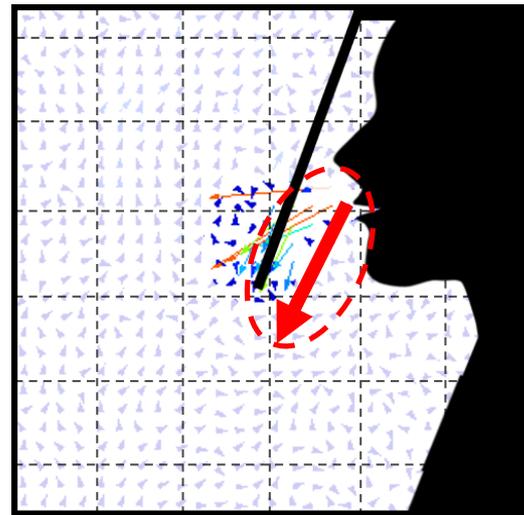
図2 咳、会話、呼吸による平均風速ベクトル分布 (caseB)

マスク、フェイスシールド、マウスシールドの比較

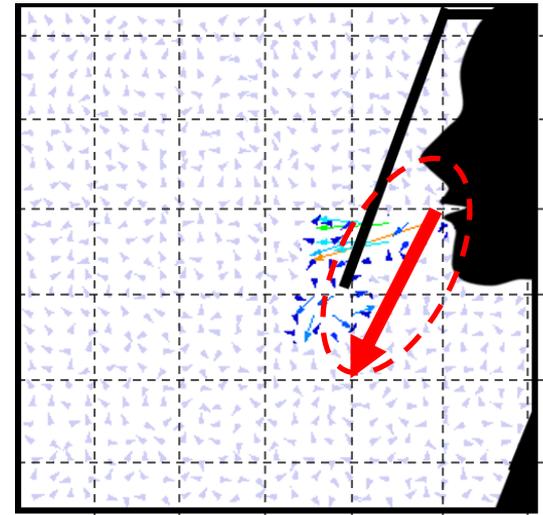
フェイスシールド着用では、気流は**主に口の下方に**、



(g) caseC-1
(フェイスシールド、咳)



(h) caseC-2
(フェイスシールド、会話)



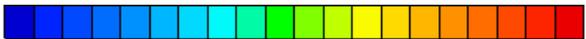
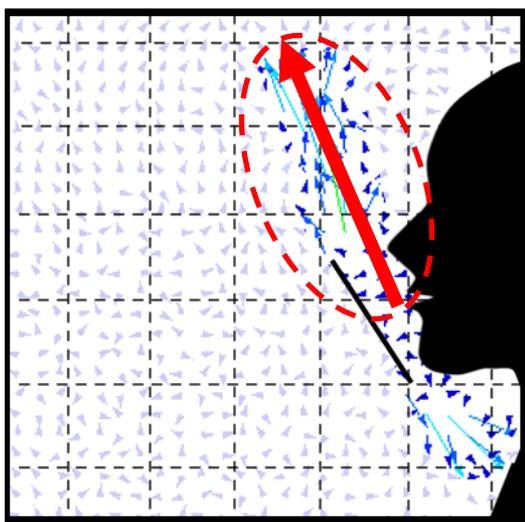
(i) caseC-3
(フェイスシールド、呼吸)

図2 咳、会話、呼吸による平均風速ベクトル分布 (caseC)

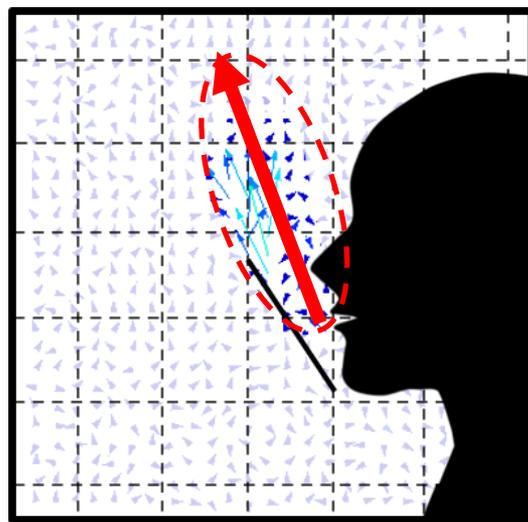
実験結果 (マウスシールド着用)

マウスシールド着用では、気流は**主に口の上方**に生じる。

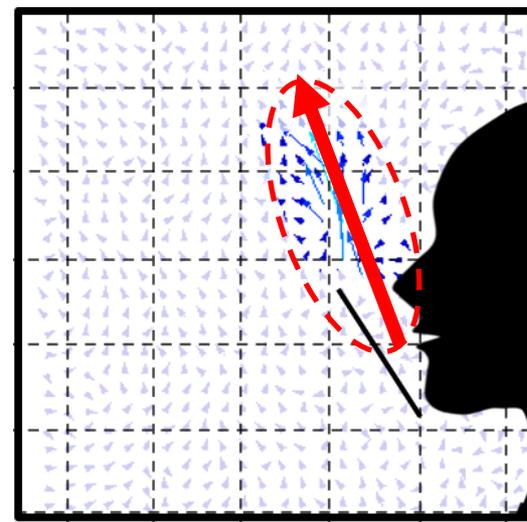
風速 0 1.5 3.0
[m/s]

(j) caseD-1
(マウスシールド、咳)



(k) caseD-2
(マウスシールド、会話)

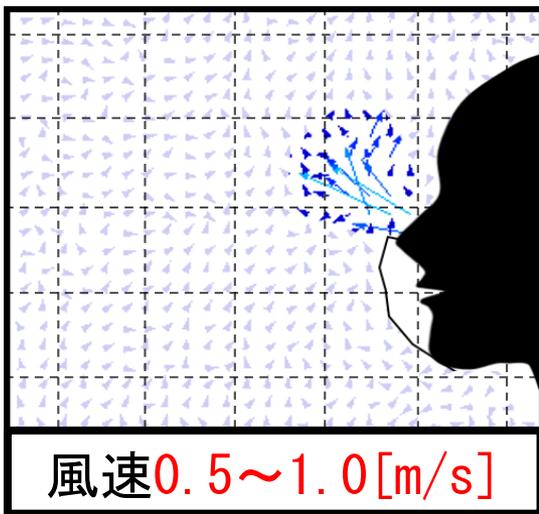
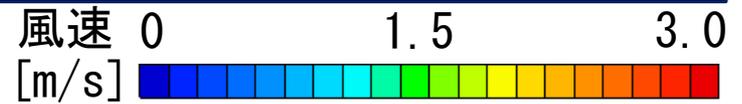


(l) caseD-3
(マウスシールド、呼吸)

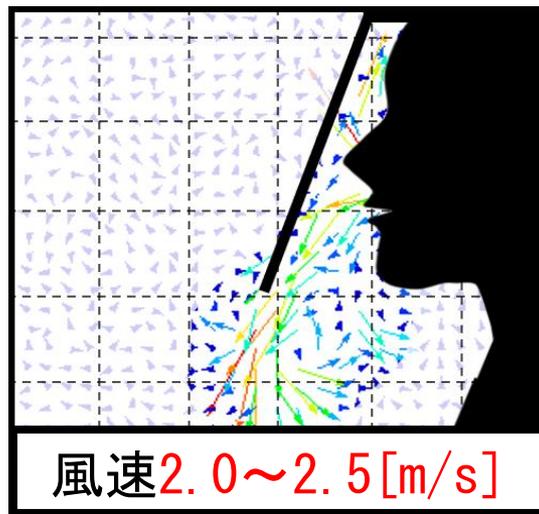
図2 咳、会話、呼吸による平均風速ベクトル分布 (caseD)

マスク、フェイスシールド、マウスシールドの比較

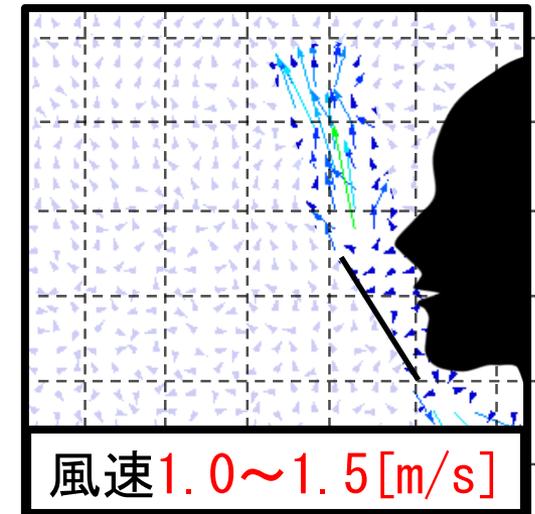
フェイスシールド、マウスシールドを着用した場合は風向を変える働きが大きいだけで、



(d) caseB-1
(マスク、咳)



(g) caseC-1
(フェイスシールド、咳)

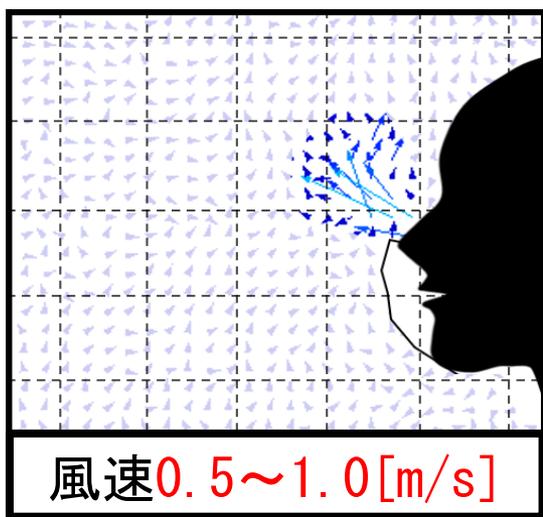
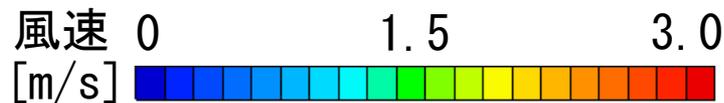


(j) caseD-1
(マウスシールド、咳)

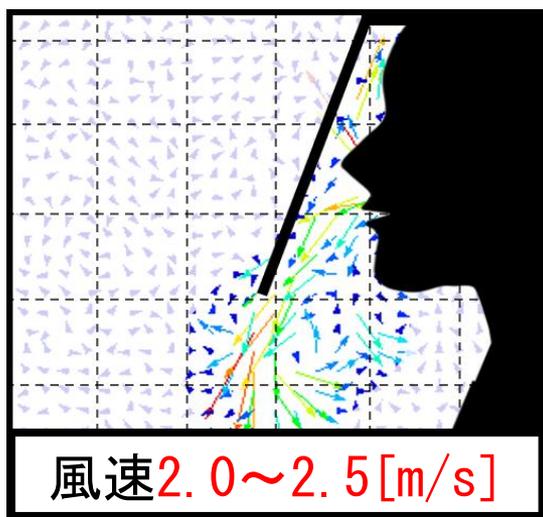
図2 咳、会話、呼吸による平均風速ベクトル分布

マスク、フェイスシールド、マウスシールドの比較

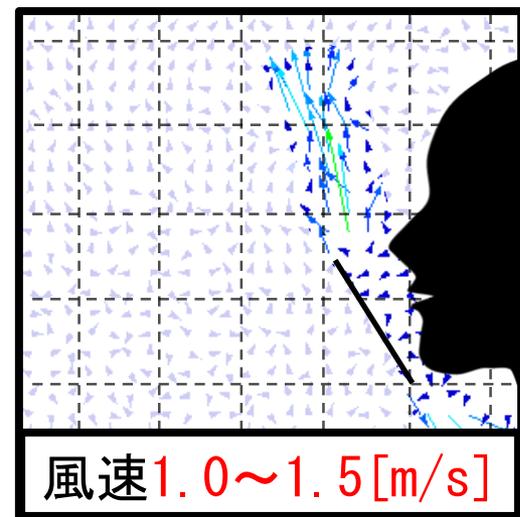
マスク着用に比較して気流速度が低下しにくい。



(d) caseB-1
(マスク、咳)



(g) caseC-1
(フェイスシールド、咳)



(j) caseD-1
(マウスシールド、咳)

図2 咳、会話、呼吸による平均風速ベクトル分布

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の下方から放射状に広がる気流となる。
- ③ どの条件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、マスク着用に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。