

- 65) 寺山和幸・平田史子・大野秀樹・河原林忠男・横田正義・青井陽・中田秀彦(1983) : Bacterial Aerosol に関する研究 第 8 報 安静時および労働時における人からの細菌飛散速度. 日衛誌, 37(6), 897-900.
- 66) 寺山和幸・平田史子・大野秀樹・河原林忠男・横田正義・青井陽・中田秀彦(1983) : Bacterial Aerosol に関する研究 第 9 報 健康被験者から飛散した空中ブドウ球菌の抗生物質感受性. 日衛誌, 38(3), 677-682.
- 67) Size Distribution of Airborne Fungal and Bacterial particles in Japanese Buildings, Fumiko Sugawara, Susumu Yoshizawa Proc of 3rd Int.Conf.on Indoor Air Quality and Climate (Stockholm), Vol 3, 241 ~246, (1984)
- 68) 平田史子・寺山和幸・河原林忠男(1984) : Bacterial Aerosol に関する研究 第 10 報 病院内空中ブドウ球菌の菌種分類と抗生物質感受性. 日衛誌, 39(5), 862-867.
- 69) 竹内和夫・松本淳・須藤尚義・菱山仁・斉藤勝・長良健次(1984) : 空調設備における加湿水の微生物汚染および空中浮遊菌に関する調査研究. 空気調和・衛生工学会論文集, No.25, 1-7.
- 70) The concentration levels and characteristics of Indoor Airborne Microbiological Particles in Japanese Buildings, Fumiko Sugawara, Susumu Yoshizawa Proc of Int.Conf on the Indoor Environment of Buildings,(Singapore),(1985)
- 71) 吉澤 晋、菅原文子 : 第 6 章 : 空中菌の挙動と対策 : 最新食品微生物制御システムデータ集. サイエンスフォーラム (1985)
- 72) 高橋泰子・小林寛伊・釘宮豊城・林キイ子・都築正和(1985) : 各種病院手術室における空気清浄度の実測. 防菌防黴, 13(4), 161-168
- 73) Casewell, M. W., Desai, N. and Lease, J. E. (1986): The use of the reuter centrifungal air sampler for the estimation of bacterial air counts in different hospital location. J. Hospital Infection, 7, 250-260.
- 74) Microbiological Contamination from Airconditioning Systems in Japanese Buildings. Susumu YOSHIZAWA, Tatehisa IRIE, Fumiko SUGAWARA, Shinichiro OZAWO, Yutaro KOHSAKA, Akihiro MATSUMAE Proc.4th Int.Conf.on Indoor Air Quality and Climate, Berlin, Vol.1, 627~631,(1987)
- 75) Study on the Collection Characteristics of Andersen Biological Air Samplers: Estimation of Size Distribution of Real Aerosols. Fumiko SUGAWARA, Susumu YOSHIZAWA Proc.4th International Conf.on Indoor Air Quality & Climate, Berlin, Vol.1, 707~712,(1987)
- 76) ぜん息児家庭における室内浮遊塵のぜん息発作に対する影響. 小野俊孝, 小幡俊彦, 小田島安平, 赤沢晃, 近藤知巳, 飯倉洋治, 石原融, 吉澤晋, 菅原文子 : アレルギー, 36(11),976~983,(1987)
- 77) 蛍光サンドウィッチ Enzyme-Linked Immunosorbent Assay による空气中スギ花粉量の測定. 阪口雅弘, 井上栄, 吉澤晋, 池田耕一: アレルギー(Jpn. J. Allergol.), 36(9),886-889,(1987)
- 78) 建築空間における空中浮遊微生物粒子の評価方法に関する研究 (第 1 報). 真菌の空気動力学的直径と形態学的直径の比較. 吉澤 晋, 菅原文子 : 日本建築学会計画系論文報告集,(371), 9~17, (1987)

- 79) 建築空間における空中浮遊微生物粒子の評価方法に関する研究 (第2報), アンダーセンサンプラの捕集特性. 菅原文子, 吉沢晋: 日本建築学会計画系論文報告集, (375), 10~16, (1987)
- 80) 建築空間における空中浮遊微生物粒子の評価方法に関する研究 (第3報). 真菌のコロニー形成メカニズムと温度条件, 菅原文子, 吉沢晋: 日本建築学会計画系論文報告集, (383), 1~7, (1988)
- 81) 菅原文子(1987): 建築物内の空中微生物汚染の防止に向かって. 空気調和・衛生工学, 61(5), 381~386.
- 82) 建築空間における空中浮遊微生物粒子の評価方法に関する研究 (第4報), 大粒子計測のためのアンダーセンサンプラの開発. 菅原文子, 吉沢晋: 日本建築学会計画系論文報告集, (387), 8~13, (1988)
- 83) 建築空間における空中浮遊微生物粒子の評価方法に関する研究 (第5報), 空中浮遊濃度と落下量の関係, 吉沢晋, 菅原文子: 日本建築学会計画系論文報告集, (391), 32~38, (1988)
- 84) 菅原文子(1988): 室内の微生物汚染. 空気調和・衛生工学. 第62巻 (第7号), p.581-584
- 85) Measurement of Allergens Associated with Dust Mite Allergy, II. Concentration of Airborne Mite Allergens (Der I and Der II) in the House. Masahiro Sakaguchi, Sakae Inoue, Hiroshi Yasueda, Tatehisa Irie, Susumu Yoshizawa, Takao Shida, Int. Arch. Allergy Appl. Immunol. (190), (1989)
- 86) On the Fluctuation of Airborne Microbiological Particle Concentration and Sampling Time, Sugawara F., Yoshizawa S.: pp.97~102, Vol.2, Proc. of 5th Int. Conf. on Indoor Air Quality and Climate, (1990/7/30)
- 87) Relation of Airborne Microbiological Particle Concentration and Settlement, Yoshizawa S., Sugawara F. pp.85~90, Vol.2, Proc. of 5th Int. Conf. on Indoor Air Quality and Climate, (1990/7/30)
- 88) 空中ダニ主要アレルゲン (Der I, Der II) の粒子径分布と空気中からの減衰 吉沢晋, 菅原文子, 安枝浩, 信太隆夫, 入江建久, 坂口雅弘, 井上栄 アレルギー, 40(4)pp435~438, (1991/4/1)
- 89) 住宅におけるカビアレルギーとその予防に関する研究. 吉沢晋, 飯倉洋治, 松前昭廣, 菅原文子, 小峯裕巳. 住宅総合研究財団研究年報 No.17, 313~329, (1991/3/1)
- 90) 布団内ダニアレルゲンの除去方法の評価. 坂口雅弘, 井上栄, 吉沢晋, 菅原文子, 入江建久, 安枝浩, 信太隆夫, 今井智子 アレルギー, 40(4), pp439~443, (1991/4/1)
- 91) 勝井則明・喜多英二・中田春男・浅田祥司・加藤信行(1991): Wash-out法に基づく超音波加湿器の微生物汚染防止. 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, 1149 - 1152.
- 92) 菅原文子(1992): 建材上のカビの成長速度に与える温湿度の影響. 日本建築学会計画系論文報告集, No.441, 9-13.
- 93) 高橋泰子(1992): 病院環境におけるエアロゾル-浮遊微生物の動態とその制御-. エアロゾル研究, 7(2), 106-112
- 94) Behavior of particles generated from floor. Aso N., Yoshizawa S., Tang H. 43~48, Vol.4, Proc. of 6th Int. Conf. on Indoor Air Quality and Climate, (1993/7/4)

- 95) Characterization of dust generation from air duct systems. Kumagai K., Yoshizawa S., Iwamoto H., Sasaki M. pp.91~96, Vol.4, Proc.of 6th Int. Conf.on Indoor Air Quality and Climate, (1993/7/4)
- 96) Effect of environmental conditions on the variabilities of values of biological particle measurements by samplers. Yoshizawa, S., Takei K., Sugawara F., Tang H., Kitaya M. 291~296, Vol.4, Proc.of 6th Int. Conf.on Indoor Air Quality and Climate, (1993/7/4)
- 97) Particle size distribution and correlation between biological and total particles in clean operating rooms. Tang H., Yoshizawa S., Fang C., Liu C. 255~260, Vol.4, Proc.of 6th Int. Conf.on Indoor Air Quality and Climate, (1993/7/4)
- 98) Study of contamination control of airborne particles from airconditioning systems in Japanese buildings. Ozawa S., Nirei T., Iino H., Yoshizawa S., Irie T., Masada K., Sugawara F., pp.285~290, Vol.6, Proc.of 6th Int. Conf.on Indoor Air Quality and Climate, (1993/7/4)
- 99) 日本空気清浄協会バイオロジカルクリーン技術体系調査専門委員会報告：空中菌・表面菌汚染菌測定法指針（案）（1993）
- 100) 湯懐鵬, 吉澤晋: 温・湿度の制御による室内真菌汚染の防止に関する研究. その1、日本建築学会計画系論文集 (463), 39/46, 1994
- 101) 横山真太郎・月館司：北海道の気密住宅の室内空気室空気調和・衛生工学 第69巻第10号 1995年 pp.11-14
- 102) 飯野弘明・小竿真一郎・小峯裕己：高気密住宅内空気環境の測定(3)－室内空気質について－空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 1995年 pp.1037-1040
- 103) 濱田信夫・山田明男：住宅内の浮遊カビ汚染：日本防菌防黴学会 Vol.23 No.5 pp.281~286 1995年
- 104) JIS K 3836 空中浮遊菌測定器の捕集性能試験方法 (1995)
- 105) Nanako Deguchi, Susumu Yoshizawa. Study on the Pollution of Common Fungi in houses. Influences of Water Vapor flow in Building Materials to Fungal Growth. pp Proc. of 7th International conference on Indoor Air Quality and Climate (Nagoya), (1996/7)
- 106) JACA 32 バイオロジカルクリーンルームにおける清浄化指針
- 107) Rie Tsubata, Masahiro Sakaguchi, Susumu Yoshizawa, Particle Size of Indoor Airborne Mite Allergens (Der 1 and Der f 1). pp Proc. of 7th International conference on Indoor Air Quality and Climate (Nagoya), (1996/7)
- 108) Tang Huaipen, Susumu Yoshizawa, Nanako deguchi. Influences of Timely Variation of Environmental Temperature and Humidity on the Fungal Growth Speed. pp Proc. of 7th International conference on Indoor Air Quality and Climate (Nagoya), (1996/7)
- 109) 小竿真一郎：高気密住宅での真菌測定（その1 - 未入居時の季節変化）日本建築学会大会学術講演梗概集 1996年9月 pp.733-734
- 110) 小竿真一郎：高気密住宅内空気環境の測定(4)－室内真菌濃度について－空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 96年 pp.957-960
- 111) 鈴木芳房・小峯裕己：住宅の床下空間における温湿度と空中浮遊カビ濃度の測定. 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 96年 pp.961-964

- 112) 鈴木芳房・小峯裕己・近藤俊晴：住宅の床下空間における温湿度と空中浮遊カビ濃度の測定. 日本建築学会大会学術講演梗概集 1996年9月 pp.739-740
- 113) Hubble, M. J., Weale, A. E., Perez, J. V. et al. (1996): Clothing in laminar-flow operating theatres. *J. Hospital Infection*, 32, 1-7.
- 114) Yoshizawa, S., Takuwa, T., Kumagai, K., Miyakubo, M., Okayasu, Y. Legionella dose Estimation from Mists of Cooling Towers and Spray Apparatus. *Proc. of Healthy Buildings/IAQ'97, Vol.1*, pp.275/280 (1997/9)
- 115) 小竿真一郎：高気密住宅内空気環境の測定(5) (室内真菌濃度 その2) 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 97年 pp.17-20
- 116) 相原真紀・田中辰明・中西礼子・李憲俊・庄司麻子：集合住宅における微生物室内空気汚染に関する研究：第15回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会 1997年4月14日・15日 pp.391-395
- 117) 横山真太郎・落藤澄・山田大祐ほか(1997)：札幌市内の主要総合病院における病室の空気環境. 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.905-908.
- 118) 相原真紀・李憲俊・田中辰明・庄司麻子・中西礼子：集合住宅での付着真菌の分布および分離真菌の発育生理：空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 98年 pp.1305-1308
- 119) 中西礼子・田中辰明・李憲俊・相原真紀：地下空間における真菌の動態調査：空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 98年 pp.1301-1304
- 120) 中西礼子・田中辰明・李憲俊・相原真紀・伊藤仁美：地下室、半地下室における真菌の挙動：16回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会：1998年4月16日・17日 pp.367-370
- 121) 日本病院設備協会(1998)：日本病院設備協会規格病院空調設備の設計・管理指針(HEAS-02-1998).
- 122) 水ト慶子・田中辰明・相原真紀・木村千暁・李憲俊：エアースンプラーの性能比較：第17回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会：1999年4月22日・23日 pp.96-97
- 123) 木村千暁・田中辰明・相原真紀・水ト慶子・李憲俊：住宅における真菌の動態調査とその環境要因：第17回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会：1999年4月22日・23日 pp.93-95
- 124) 篠原文彦・岩田利枝・塚原弘泰：住宅におけるカビ・ダニに関する調査研究(その2)季節、温湿度等の影響に関する考察、日本建築学会大会学術講演梗概集 2000年9月 pp.951-952
- 125) 小児アレルギー患者宅における空気環境の実測に基づく空気清浄器の効果の評価に関する研究：塩津弥佳、入江建久、吉澤晋、池田耕一：日本建築学会計画系論文集第530号、pp.53/60、(2000/4)
- 126) 相原真紀・田中辰明・高鳥浩介：居住環境にみる付着真菌の月別変動：日本防菌防黴学会 Vol.28 No.1 pp.3~8 (2000)
- 127) 塚原弘泰・篠原文彦・岩田利枝：住宅におけるカビ・ダニに関する調査研究(その1)現状調査、日本建築学会大会学術講演梗概集 2000年9月 pp.949-950
- 128) 山崎省二編：環境微生物の測定と評価：オーム社 (2001)
- 129) 住宅等における花粉の侵入と被曝量. 室内居住環境の花粉による汚染防止に関する研究 I：清澤裕美、吉澤 晋：日本建築学会計画系論文集第548号、pp.63/68、(2001/10)

- 130)塩津弥佳・池田耕一・吉澤晋：ホルムアルデヒド対策を行った単身者用マンションにおけるカビ発生の実態について、日本建築学会大会学術講演梗概集 2002年8月 pp.895-896
- 131)岩田利枝・岡垣大介・関根嘉香：新築集合住宅における真菌濃度に関する実測調査：空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 2002年 pp.1393-1396
- 132)岩田利枝・篠原文彦：住宅内の付着真菌に関する実測研究、日本建築学会大会学術講演梗概集 2002年8月 pp.891-892
- 133)荒勝俊・小島みゆき・相原真紀・都島康彦・川合修次・上田伸男・秋山一男・高鳥浩介：家庭内生活環境(リビング、和室)における真菌分布変化：第46回日本医真菌学会総会抄録集 p.104(2002年9月28日,29日)
- 134)篠原史彦・岩田利枝：住宅における真菌調査と採取方法に関する研究：空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 2002年 pp.1381-1384
- 135)住宅等への花粉搬入量、室内居住環境の花粉による汚染防止に関する研究 II：清澤裕美、吉澤晋：日本建築学会計画系論文集第558号、pp37/42、(2002/08)
- 136)小竿真一郎・清水実・入江建久・堀雅宏・佐原幸宏：防音住宅での空気環境調査：第20回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会：2002年4月16日・17日 pp.104-105
- 137)小竿真一郎・清水実・堀雅宏・佐原幸宏：防音住宅の環境調査：その1 室内空気汚染(微生物・化学物質)、第29回建築物環境衛生管理技術研究大会：2002.1.24.25 pp.26-27
- 138)柳 宇(劉 瑜)、三浦邦夫、山崎省二：空調設備における抗菌性能の試験と評価方法の提案、第20回空気清浄とコンタミネーションとコントロール研究大会、pp.253-256 (2002)
- 139)柳 宇(劉 瑜)、三浦邦夫、入江建久、池田耕一：空調用ダクト内付着粒子状物質の挙動と制御に関する研究、空気調和・衛生工学会論文集 No.86、pp.97-105 (2002)
- 140)荒勝俊・相原真紀・小島みゆき・都島康彦・川合修次・上田伸男・秋山一男・高鳥浩介：家庭内生活環境(寝室、寝具)における真菌分布変化：日本防菌防黴学会第30回年次大会要旨集 p.90 (2003年5月26日-28日)
- 141)小島みゆき・都島康彦・荒勝俊・相原真紀・小島えな子・上田伸男・秋山一男・高鳥浩介：家庭におけるカビ分布と生活者の意識からみた衛生対策：日本防菌防黴学会第30回年次大会要旨集 p.91 (2003年5月26日-28日)
- 142)柳宇・塩津弥佳・池田耕一・松村年朗(2003)：総合病院内黄色ブドウ球菌汚染の実態、日本建築学会大会学術講演梗概集(東海) 環境工学II, p.837-838.
- 143)ISO14698-1:2003 -Biocontamination control -General principles、
- 144)ISO14698-2:2003 -Biocontamination control-Evaluation

3.2 建築空間における感染防止についての知見と課題

3.2.1 基本的問題

室内での感染には、①被曝量と感染の関連、②室内での被曝量の二者が決定的な要因となるが、ここでは前者については、感染が被曝量に比例するとし、その量的な関係は触れず、室内での被曝量の把握を対象とする。

1) 被曝量の予測

被曝には

- ① 室内空気中にエアロゾルとして分散したものを吸入するもので、室内の濃度に比例するものとする。
- ② 物体表面に付着したものを他などを通して被曝する。この中には、物体表面上のものが、何らかの機構で再度浮遊化したものを吸入するものがある。

2) 室内濃度

室内濃度に影響するものは、室内における発生量率、外部から侵入する空気中の汚染物質、換気または空気浄化性能であり、さらに、室内での拡散性である。

① 室内での発生量率：

人からどれだけのエアロゾル発生があるか。どのような性質のものであるか。

a. 人体からの発生量

- 呼吸、会話、咳等により発生するエアロゾルの大きさと量についての情報
- 人の行動によって発生するエアロゾルの大きさと量
- 衣類などからの発生量
- 行動によって巻き上げられる生物粒子量、粒径等の情報

b. 機器備品等からの発生

- 分析機器類
- 医療機器類
- 移動用設備（コンベア、エレベータ等）
- ロボット類

c. 建材・建築設備機器類

- 空調機器・ダクト
- フィルタ・給排水設備等

② 侵入空気中の汚染物質

建物は気密ではなく、かなりの空気の流出入が存在する。これらが室内濃度や被曝に影響するほどの量であるか否かはまだ不明瞭であり、対象によっては定量的に明確にする必要がある。これらの開口を通じての流出入は、その室内の気圧あるいは室間の気圧差に関係するので、これらを明らかにし、正しく利用する方法を開発することが必要である。

a. 窓などの外気からの侵入

窓の構造と気密性

室内圧

外部風圧の影響

b. 壁隙間などからの侵入

工法による壁の気密性の違い

室間の気圧差（空調設計上）

室間の気圧差（外気圧の影響）

c. 配管その他の開口からの侵入

③ 換気・浄化性能：

室内均一分布の仮定では、室内濃度は汚染物質の侵入量と発生量の和と、浄化能力（フィルターなどの性能を含んだ有効換気量）の比として表現される。空気浄化装置などの性能が正しく評価されることが必要である。

④ 室内での拡散性：

室内で発生あるいは侵入した汚染物質は、気団あるいは気流に乗って拡散しながら全体の流れに乗って進んでゆく。ある点でこれを計測すると、甚だしい変動として表現される。

一般の建築空間では、対象とする汚染物質が、積分値で（あるいは平均値で）問題となるようなものが考えられており、発生源や測定点（被曝点）も移動する機会が多いので、室内平均値を用いることが多い。

今回のように比較的少量の被曝で感染が起きる可能性があるとする、一様拡散あるいは平均値は危険側の予測となる。

a. 一般気流による拡散と被曝量

気流分布と被曝量

事務所のような室内

住宅・ホテル等の個室

車内（自動車・旅客機・列車車室）

b. 吹き出し口との関係

位置関係と型式

ユニバーサル型

ノズル型

アネモ型

パンチメタル型

天井吹出・天井吸込型

c. 吸い込み口の影響

数と位置関係と被曝量

エアクリーナによる影響

d. 障害物の影響

衝立や障害物などの影響

e. 気流による巻き上げ

どの程度の気流で、どの程度の巻き上げが起きるか？

f. 落下による影響（どこまで影響するか？）

人の歩行などによって、どの程度の落下影響があるか？

どの高さまで影響するか？

3.2.2 管理運転上の問題

a. 始動・停止時の問題

空調などを起動停止した時に発生する増加

b. メンテナンス時の問題

メンテナンス作業により発生するもの

c. 径時変化

その空間の性質による日常的な時間的变化

3.2.3 改善・改装上の問題

a. 改装作業による発生

b. 改装後の一時的発生

c. 汚染の浄化

3.2.4 取り壊し上の問題

a. 取り壊し作業による発生

b. 搬出作業による発生

c. 飛散した汚染物の付着

4. 室内環境の数値予測

4. 1 室内環境の数値予測と基本的仮定

(1)環境被曝量の予測

室内環境におけるSARSウィルスの気中濃度、室内物体表面濃度を予測することを目的とする。SARSウィルスは、SARS感染者の咳中から環境に放出されるものとし、室内における人の咳の拡散と室内物体表面への付着性状を予測することを目的とする。

検討は、そのため、(1)一般的な咳の性状すなわち、呼出空気量、呼出速度、呼出空気中に含まれる唾液等の液体エアロゾル量を検討する。次に(2)咳による呼出空気の室内での移流、拡散性状を検討し、更に咳による呼出空気中のエアロゾルもしくは飛沫の室内拡散及び物体付着性状を検討する。更に(3)一般的な入院病棟における換気性状と咳による呼出空気の関係並びに、室内における汚染物質の拡散を抑制する(4)プッシュプル換気を設置した場合の汚染拡散防止効果を検討する。検討は、文献調査、実験、コンピューターを用いた流体シミュレーションにより行なう。

(2)解析における基本的な仮定

- 1) SARSウィルスは、患者の咳により室内環境中に放出される。
- 2) ウィルスは、咳中のエアロゾル及び飛沫中に含まれている。
- 3) したがって被曝量予測は、室内環境中に放出される患者の咳によるエアロゾルと飛沫の室内空気中の濃度及び物体表面の濃度を予測すること帰着される。
- 4) 患者の1回の咳の呼出空気中のエアロゾル及び飛沫量 X mg に対し、気中濃度は、 Y mg/m³ で評価する。但し、 X の値の検討は、今回、健常者の咳呼出空気より実験的に求めたものでSARS罹患者によるものではない。正確な調査は医学的調査に委ね、ここでは概略を検討するものとする。
- 5) 参考として咳の到達範囲を定常状態(咳による吐出が連続的に生じるものとして評価)する。
- 6) 当初、エアロゾル及び飛沫は、流れに対してパッシブと仮定し、凝集、沈着、重力沈降現象などは無視する。エアロゾルの拡散に関し、分子拡散は無視する。

(3)文献調査結果

SARS罹患者は無論のこと、一般的なインフルエンザ罹患者などの咳の呼出空気量、呼出速度、呼出空気中に含まれる唾液等の液体エアロゾル量に対する検討結果が記載された既往の文献は、残念ながら収集できなかった。また、咳による呼出空気中のエアロゾル及び飛沫の粒径分布に関する適切な資料も残念ながら収集できなかった。今回は、咳の呼出空気量、呼出速度、呼出空気中に含まれる唾液等の液体エアロゾル量に関しては、健常者による咳の観察から求めることとした。粒径に関しては今後の課題としたい。

咳による呼出空気の室内拡散に関しては、計算機シミュレーションによる解析例の報告もあるが、断片的なものしかなく、あまり参考になるものは収集できていない。今回は、実験及び乱流モデルに基づく流体の計算機シミュレーションにより解析することとした。

なお、咳による呼出空気中の飛沫の物体表面付着に関しては、飛沫の粒径分布、濃度などの情報が必要となるが、今回は十分な資料を収集することができず、これらの解析に関しては今後の課題とすることとした。

(4) 計算機シミュレーションの可能性に関して

流れ現象は、空間の形状や温度など様々な条件により大きく変わるため、一般性（代表性）を持つ状況の解析を行なうことはかなり難しい。わずかな条件の違いによりその性状が大きく異なることは珍しいことではない。すなわちこのような咳による呼出空気の室内拡散、また呼出空気中のエアロゾルや飛沫の室内拡散は、条件の違いにより個別に解析される必要が高い。計算機シミュレーションは、実現象に拠らず計算により条件を変えた検討を容易に行なうものであり、このような解析に適するものである。

咳中の呼出空気の室内移流、拡散は、これらを特徴づけるスケールを解像した計算機シミュレーションが必要となる。しかし、咳の呼出空気速度は極めて速く、またその直径はそれほど小さくなく室内空気との間には大きな速度勾配が生じる。計算機シミュレーションは、この速度勾配を十分解像して行なうことが必要となるが、現実問題として現状でこれを十分解像して解析を行うことは計算機の能力の観点から難しい。今回の計算機シミュレーションは、粗い解像の下で行なわれたものであり、その意味で定量的な結果は、オーダーを示すものであり、2桁、3桁の精度があるものではないことを予め注意されたい。

今回は、計算機シミュレーションによる解析を多く示しているが、これはその汚染のオーダーを示すものとして理解されたい。

4. 2 咳による吐出空気量と吐出速度の検討

4. 2. 1 検討目的と実験装置の概要

1) 検討目的

本節は、咳の気流が肺からのエアロゼルを空気中に伝送する特性の把握を目的としている。それで、咳による吐出空気量、放出されたエアロゾルの量及び咳の吐出速度などの咳の物理特性を測定し、静穏無風環境における咳の気流の可視化を行った。

また、咳の吐出空気量と吐出速度は以下の CFD 解析に境界条件として用いられる。

2) 実験装置

A. 湿式ガスメーター

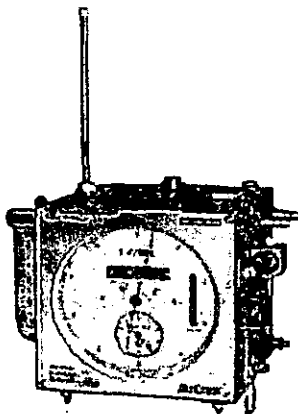


表 4.2.1 W-NK-1 の仕様

項目	W-NK-1
測定範囲	2~600 L/h
指針 1 回転	1 L
最小目盛	0.001 L
最大積算量	999 m ³
最高使用圧力	9.8 KPa
使用温度	50 °C 以下
接続ゴム管 (内径)	Φ9.5mm
乾燥重量	5.6 Kg
封液量	3.7 L

表 4.2.1 W-NK-1 の仕様

製造：(株) シナガワ

型番：W-NK-1

B. サーマル定流量装置

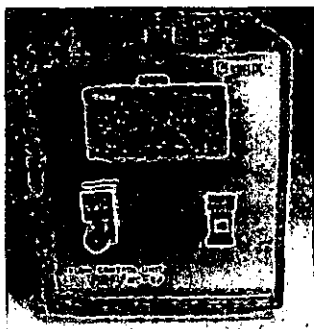


表 4.2.2 MC-1A の仕様

項目	MC-1A
流量レンジ	5 SLM
精度	±1%(フルスケール)
流量出力	DC 0~5 V
使用圧力	0.05~0.5 MPa
耐圧	0.99 MPa
使用温度	15~35 °C
使用湿度	35~85%
電源	AC 100 V, 50/60Hz, 1A
接ガス部材質	SUS316, テフロン, バイトン

図 4.2.2 MC-1A

製造：(株) コフロック

型番：MC-1A

C. 多機能上皿天秤

表 4.2.3 PR1203 の仕様

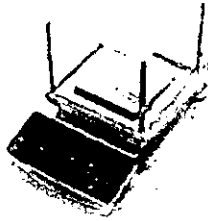


図 4.2.3 PR1203

製造：(株)メトラー・トレド
型番：PR1203

項目	PR1203
最小表示	0.001 g
秤量	1210 g
風袋引き範囲	0~1210 g
繰り返し性(s)	0.001 g
直線性	±0.002 g
立ち上がり時間	3~5 秒
温感ドリフト	±2 ppm/°C (温度範囲 10~30°C)
感度の長期安定性	±0.001%
秤量皿サイズ	128 mm × 128 mm

D. PIV 風速システム

このシステムでは、2 時刻の画像の相互相関を取り、移動量に対応する相関係数のピークを検出することにより風速ベクトルを算出するパターン相関法を用いて流れ性状の解析を行う^{文1)}。①流れに追従し、十分な散乱光が得られる粒子を流れ場にシードする。②流れ場のある断面を高出力のパルスレーザーにより微少な時間間隔で照射し、そのパルスレーザーに同期させた CCD カメラにより、2 時刻の粒子画像フレームをデジタルデータとしてフレームメモリーに取り込む (図 4.2.4)。画像内の輝度分布は各 pixel においてグレースケールで 8bit の情報として処理される。③2 つのフレームに取り込んだ画像は、

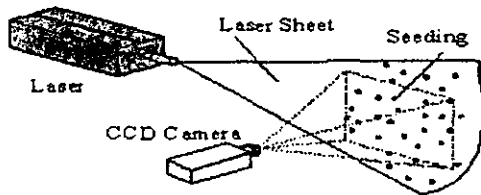


図 4.2.4 PIV システム基礎概念

検査領域 (Interrogation area) と呼ばれる小さいエリア (風速ベクトル算出の単位) に分けられる。④それぞれの領域で相関法を用いて、微少時間における粒子の移動距離を求め、速度ベクトルを決定する。処理のフローチャートを 4.2.5 に示す^{文2)}。又、今回用いた、機器の概要を表 4.2.4 に示す。

表 4.2.4 PIV 装置の概要

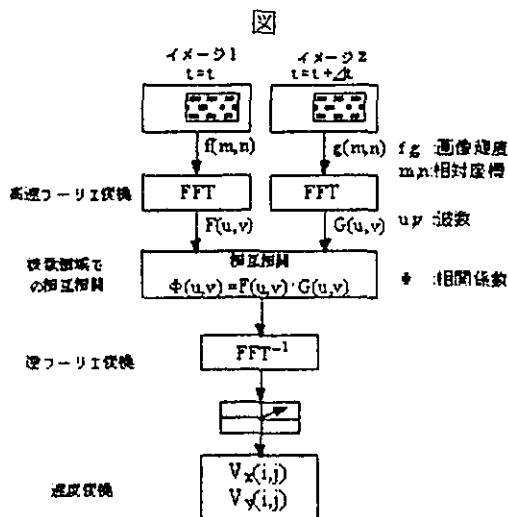


図 4.2.5 PIV システムのフローチャー

機器	概要
デジタルビデオカメラ	相関係数演算には、DANTEC 社製の PIV2000 専用演算器 (実時間 FFT アナライザー) を用いた。カメラ及びレーザーのタイミング制御もここから行う。
CCD CAMERA	KODAK 社製 ES1.0CCD カメラ (ピクセル分解能 1024×1024) で 60mm の Nikon Micro レンズ (35mm, f=5.6) を使用した。
LASER	NEW WAVE 社製のダブルキャビティのミニ Nd:YA レーザ (50mJ/puls, 15Hz) を使い、ヘッド先端にライトシート用の光学系を取り付けている。

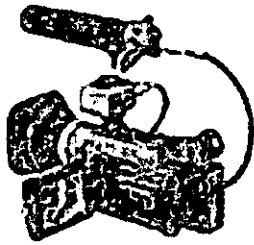


図 4.2.6 DSR-PD100
製造：(株) ソニー
型番：DSR-PD100

表 4.2.5 DSR-PD100 の主な仕様

項目	DSR-PD100
撮像素子	1/4 インチ CCD 固体撮像素子 (3CCD)
総画像数	38 万画素×3
レンズ	12倍(光学), 48倍(デジタル), 連続可変速
ズーム比	f=4.3~51.6 mm, F=1.6~2.8
フォーカス	TTL オートフォーカス機構付き
被写体照度範囲	8~100,000 ルクス
動作温度	0~+40 °C

4. 2. 2 被験者の概要

25~30 歳の健康な大学院生 3 名を被験者とした。被験者の身体データを表 4.2.6 に示す。

表 4.2.6 被験者のプロフィール

被験者	年齢	体重(Kg)	身長(m)	肺活量(L)
YX	28	68	1.75	4.3
JH	29	67	1.74	3.6
SW	30	70	1.68	3.5

4. 2. 3 吐出空気量の測定実験

ここで、咳による吐出空気の容積及び吐出空気中の唾の量を測定した。以下にそれぞれの測定方法及び測定結果を述べる。

1) 吐出空気の容積の測定

A. 測定方法

容量 5L の 1 ヶロタイプのテドラーバッグを用いて咳の吐出空気を収集した。測定の手順を以下に示す。

- ① プンプを用いてテドラーバッグ中の空気を外に抽出する；
- ② プンプを用い、サーマル定流量装置を利用して一定量の空気) をテドラーバッグ中に入れる。この量を V1 として記録する。
- ③ 被験者がテドラーバッグに咳をする。
- ④ プンプを用い、テドラーバッグ中の空気を湿式ガスメーカーに吸引し、この量を V2 として記録する。

ここで、V2 と V1 の差を吐出空気の容積とする。

実験中、空気の漏れを避けるため、実験の前にテドラーバッグを被験者の口に緊密に粘着した。被験者は実験中において鼻を用いて呼吸していた。

B. 測定結果

実験結果を図 4.2.7 に示す。被験者によって咳の吐出空気の容積に個人差があるが、この量が 0.8L~2.2L 以内に収め、平均容積が約 1.4L であった。

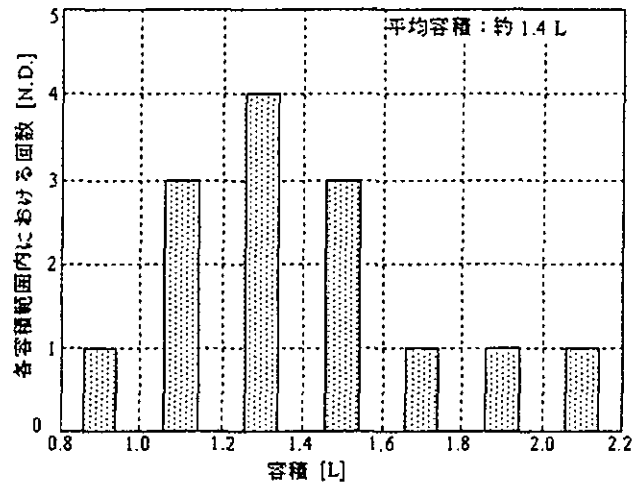


図 4.2.7 吐出空気容積

2) 吐出空気中の唾の量の測定

A. 測定方法

本実験で、被験者の唾を通気性が良いマスクを用いて収集された。実験手順を以下に示す。

- ① 電子天秤を用いてマスクの質量(M1)を測定する。
- ② 被験者はマスクで口を緊密に被せ、連続で10回の咳をする。
- ③ 再び電子天秤を用いてマスクの質量(M2)を測定する。

ここで、M2とM1の差の1/10を咳による唾の量とする。

実験の精度を図るため、実験中、応答が速い電子天秤を使う一方、水分がマスクから空中への拡散の影響をおさめるため、マスクの移動をできる限り迅速に行った。また、被験者が咳をした際に、鼻を用いて吸気していた。

B. 実験結果

実験結果が表 4.2.7 に示す。各被験者が吐出した唾の量が多少違うが、平均的に約 6.7mg。

表 4.2.7 咳により吐出した粒子の量

	YZ	JH	SW	平均値
結果	7.7 mg	6.5 mg	6.1 mg	6.7 mg

4. 2. 4 吐出速度の測定実験

1) 測定概要

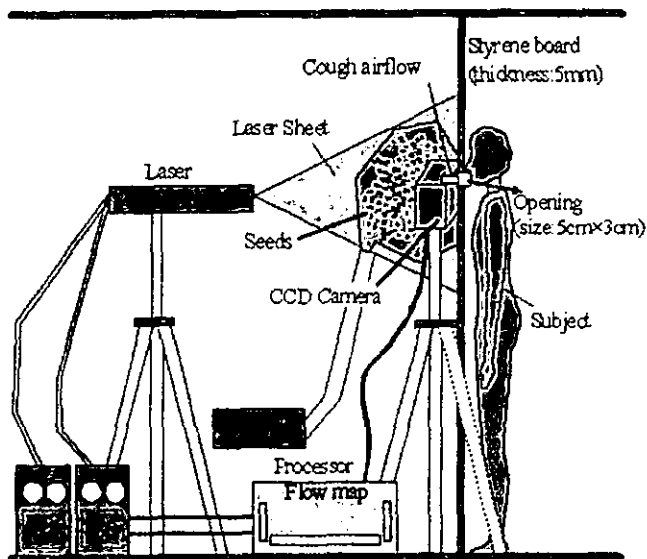


図 4.2.8 測定概要図

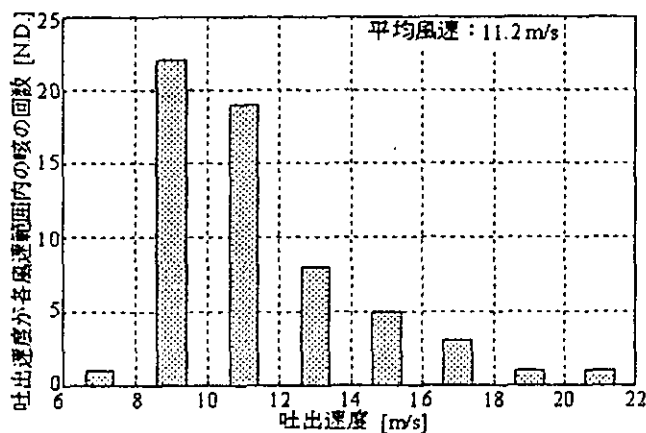
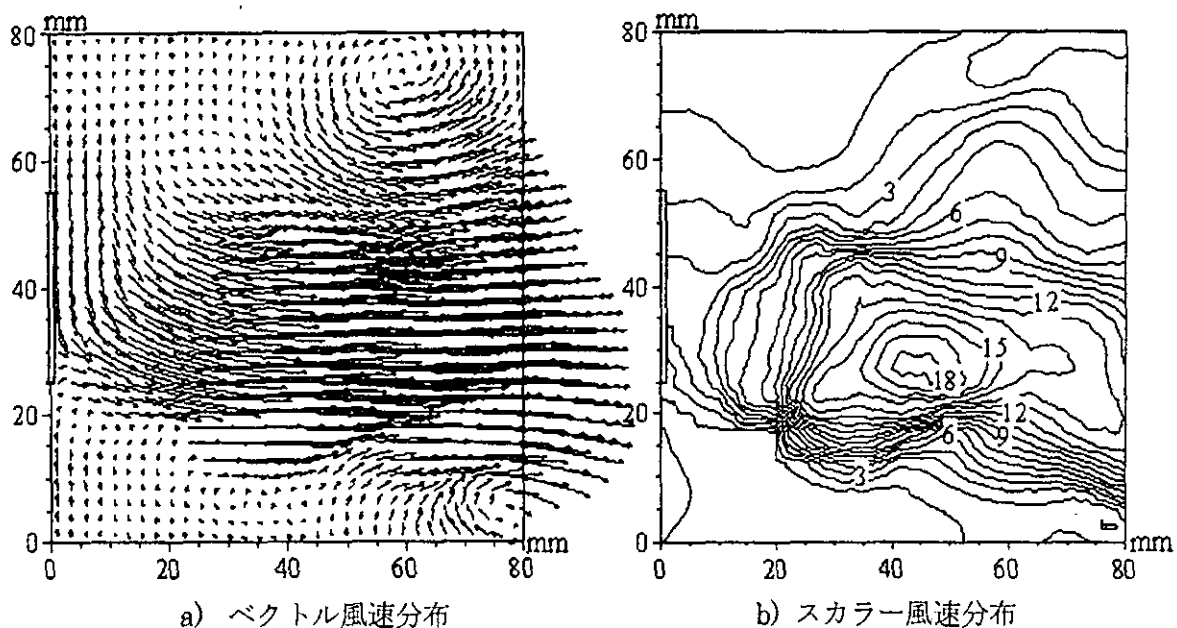


図 4.2.9 咳の吐出速度

気流の 0.05ms 以内の空間移動により算出する。

2) 測定結果



a) ベクトル風速分布

b) スカラー風速分布

図 4.2.10 口元周辺における咳の気流の風速分布

実験の様子を図 4.2.8 に示す。実験中、トレーサガスとレーザーが人体への傷害、及び人体生理発熱による上昇流が咳の気流に与える影響を避けるため、実験室をスチレンボードにより前後 2 部分に分け、被験者と PIV 測定設備がそれぞれスチレンボードの両側に設置した。人体の口位置で、スチレンボードに穴(5cm×3cm)をあけた。また、スチレンボードの咳の呼出気流への影響を小さくするため、厚さが 5mm の薄いものを使用した。測定中、室内流れ場は無風状態に保っていた。

また、PIV 測定の設定について、各パラメータを表 4.1.8 に参照。ここで、風速ベクトル表 4.2.8 PIV 測定パラメータ

測定領域 size	100mm×100mm
測定間隔	70ms
レーザーパルス時間間隔 (Δt)	0.05ms
検査領域 (Interrogation area)	32pixel×32pixel
Overlap	25%×25%
ベクトル数	1,722 (41×42)

PIV システムの制限で、連続的な測定ができないので、70ms 間隔で測定領域内の流れ場を測定した。測定結果の中で、咳が発生した後 5ms 以内の風速分布と判断されたものを選び、60 回の結果を有効ケースとして得た。各有効ケースで観察される最大風速を咳の吐出速度とした。

図 4.2.9 に示すように、咳の吐出速度が 6~22m/s の範囲内に分布し、この平均値が約 11.2m/s。又、図 4.2.10 は、一つの有効ケースの結果を示す。これは咳が発生した約 2.3ms の時点で測定された風速分布である。咳の吐出空気が口から約 18.6m/s、熱帯暴風雨ほどの風速で口から吐出された。

4. 2. 5 咳の気流の可視化実験

1) 測定方法

小麦粉をトレーサとして用いた。無風静穏環境において、小麦粉は咳により口から噴出された後、空間における移動軌跡をデジタルビデオカメラを用いて撮影された。

2) 測定結果

小麦粉の塊が高速で口から噴出された後、この勢いで瞬間に 30cm 以上空气中を直進した。その後風速の低減に従い、咳の気流の影響が小さくなったため、小麦粉がど

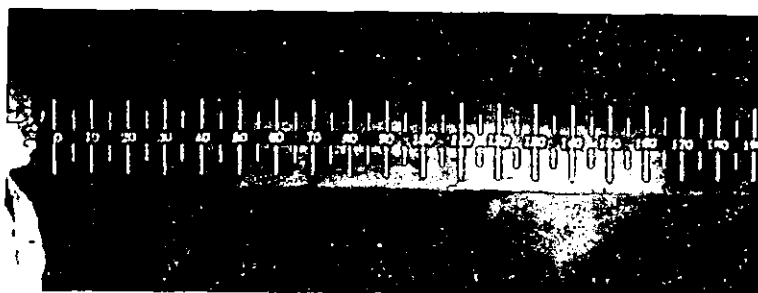


図 4.2.11 咳による気流の可視化

んどん塊を離れ、空气中に拡散した。図 4.2.11 に示すように、小麦粉の塊が空气中に進みながら、この径がどんどん大きくなり、影響範囲も広がった。なお、一部の小麦粉が 2m 以外に落ちたことは観られた。

4. 2. 6 まとめ

- 1) 本節で、四つの被験者実験により、咳の吐出空気の容積、吐出空気中の唾の量、咳の吐出速度を測定し、咳の気流を再現した。
- 2) 個人差があるが、咳の吐出空気の容積が 0.8~2.2L の範囲にあり、平均的に約 1.4L。また、吐出空気中の唾の量が平均的に約 6.7mg。吐出空気の容積及び唾の量に平均値を採用すれば、咳の吐出空気における唾の量が約 4.9mg/L。
- 3) 咳の吐出速度が 6~22m/s 以内に分布し、平均的に約 11.2m/s。
- 4) 咳の気流の可視化を行った。実験結果により、咳の影響範囲が 2m 以外に及ぼした。

4. 3 人体から定常吐出されるエアロゾル汚染質の人体周辺濃度

4. 3. 1 検討目的と解析対象流れの概要

1) 検討目的

本節は、静穏環境において、ある在室者が一定の吐出速度で咳をする場合、咳により吐出されるエアロゾル汚染質の室内における濃度分布を求めた。この濃度が咳の発生からある時間経過後に最大になる際の濃度を表すものと考えられるため、解析結果により咳がエアロゾル汚染質を室内に拡散、伝播する最大能力を把握できる。

また、空調と咳をする人体の位置関係が咳によるエアロゾル汚染質の拡散に与える影響の検討も目的としている。

2) 解析対象

解析対象空間のタイプ、空調と咳をする人体との位置関係を考えて、ここで、図 4.3.1 に示すように 4 ケースの解析を行う。

A. 対象空間

4 ケースとも、対象空間の寸法は 3.5m × 3.0m × 2.5m である。

ケース 1 と 2 は普通の待合わせ室を想定してモデル化する。室内の真ん中に机を設置し、二人

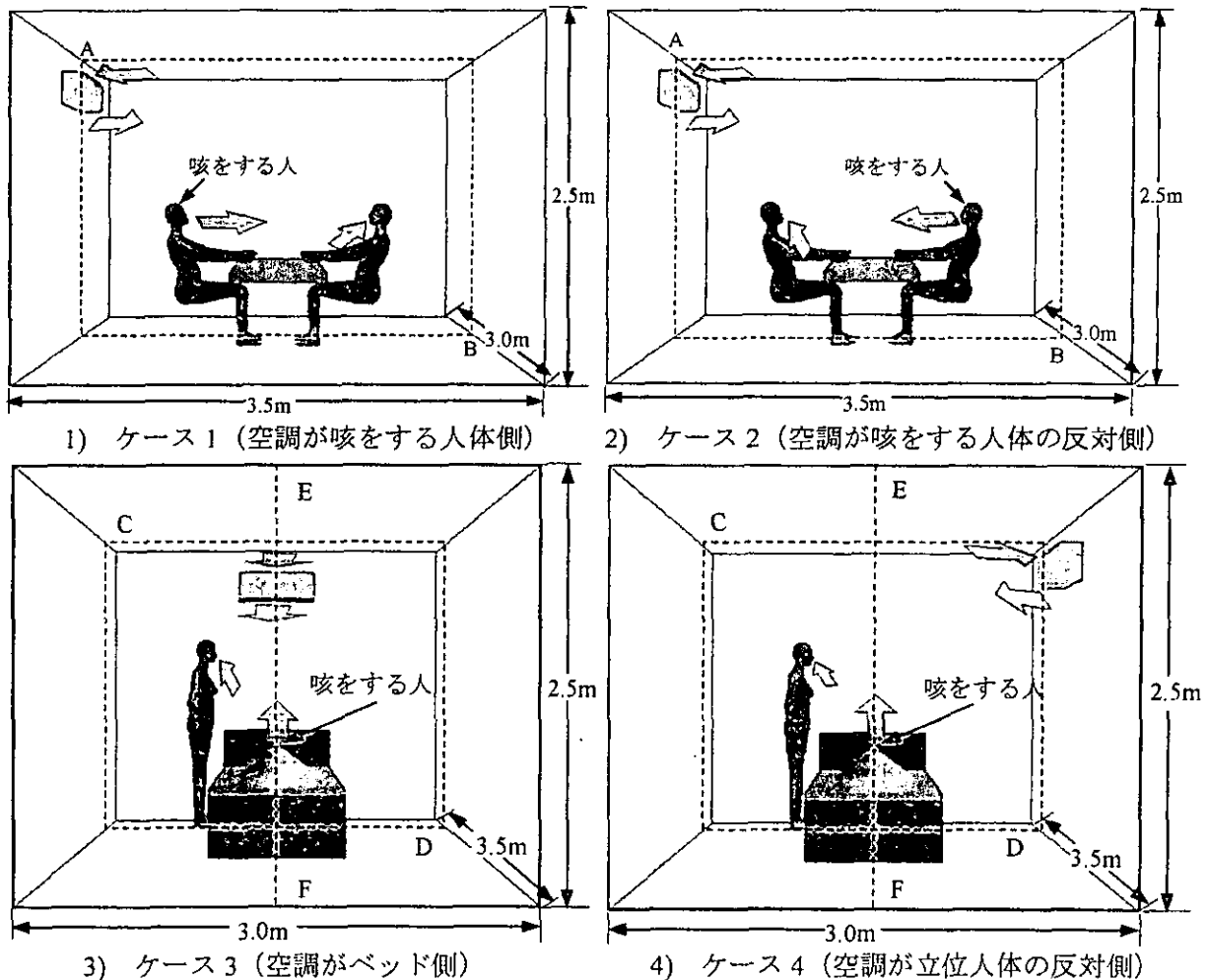


図 4.3.1 解析対象モデル

がそれぞれ机の両側に対面で着席し、顔と顔の距離は約 1.54m。

ケース3と4は普通の病室を想定してモデル化する。病室の真ん中にベッドを設置し、咳をする人がベッドの上に寝ている状態である。もう一人がベッドの傍に立っている状態である。

B. アンビエント空調

アンビエント空調は壁掛けのルームエアコンディショナーを採用した。空調の各ケースにおける設置場所を図4.3.1に示す。空調の吹出口サイズは $0.035\text{m}^2(0.05\text{m}\times 0.7\text{m})$ であり、吹出風速は 0.2m/s に設定する。

4. 3. 2 流れの数値シミュレーションの方法概要

1) 人体モデル

ケース1と2は、座位の人体モデルを用いる。座位の人体モデルは口の面積が約 3.4cm^2 、鼻の面積が約 3.3cm^2 。ケース3と4は臥位と立位の人体モデルを用いる。咳をする臥位の人体モデルは実人体形状に布団を加えて作成され、口の面積が約 3.6cm^2 、鼻の面積が約 3.0cm^2 。立位の人体モデルは鼻の面積が約 3.2cm^2 。

表 4.3.1 定常解析の境界条件

各ケースにおいて、咳をする人体が常に咳をすると仮定し、吐出速度に関しPIV実験で得られた最大値 22m/s を用いる。もう一人が定常吸気状態と仮定し、吸気量は人体鼻位置で、定常的に $0.0004\text{m}^3/\text{s}$ (代謝量が 1.3Met 時)とする ^{文3)} 。吹出口	風速： 0.20 m/s 、温度： 26°C 乱れの強さ：10%、長さスケール：0.05
吸込口	風速：free slip、温度：free slip
壁面 (ベッド、机を含む)	速度：no-slip 温度：no-slip、断熱壁
咳をする人体の口	風速： 22 m/s 、温度： 32°C 乱れの強さ：10%、長さスケール：0.01
他の在室者の鼻 (吸気する位置)	定常吸気量： $0.0004\text{m}^3/\text{s}$ (1.3Met の代謝量を想定する) 方向：鼻から垂直より 15° の角度 ^{文4)} 乱れの強さ：10%、長さスケール：0.01
人体表面 (枕、布団を含む)	速度：一般化対数則 温度：対流熱伝達量 33.8 [W] (座位状態と立位状態は $23.0\text{W}/\text{m}^2$ 。 臥位状態はこの対流熱伝達量を分布を考慮して分配して与えている ^{文5)} 。)

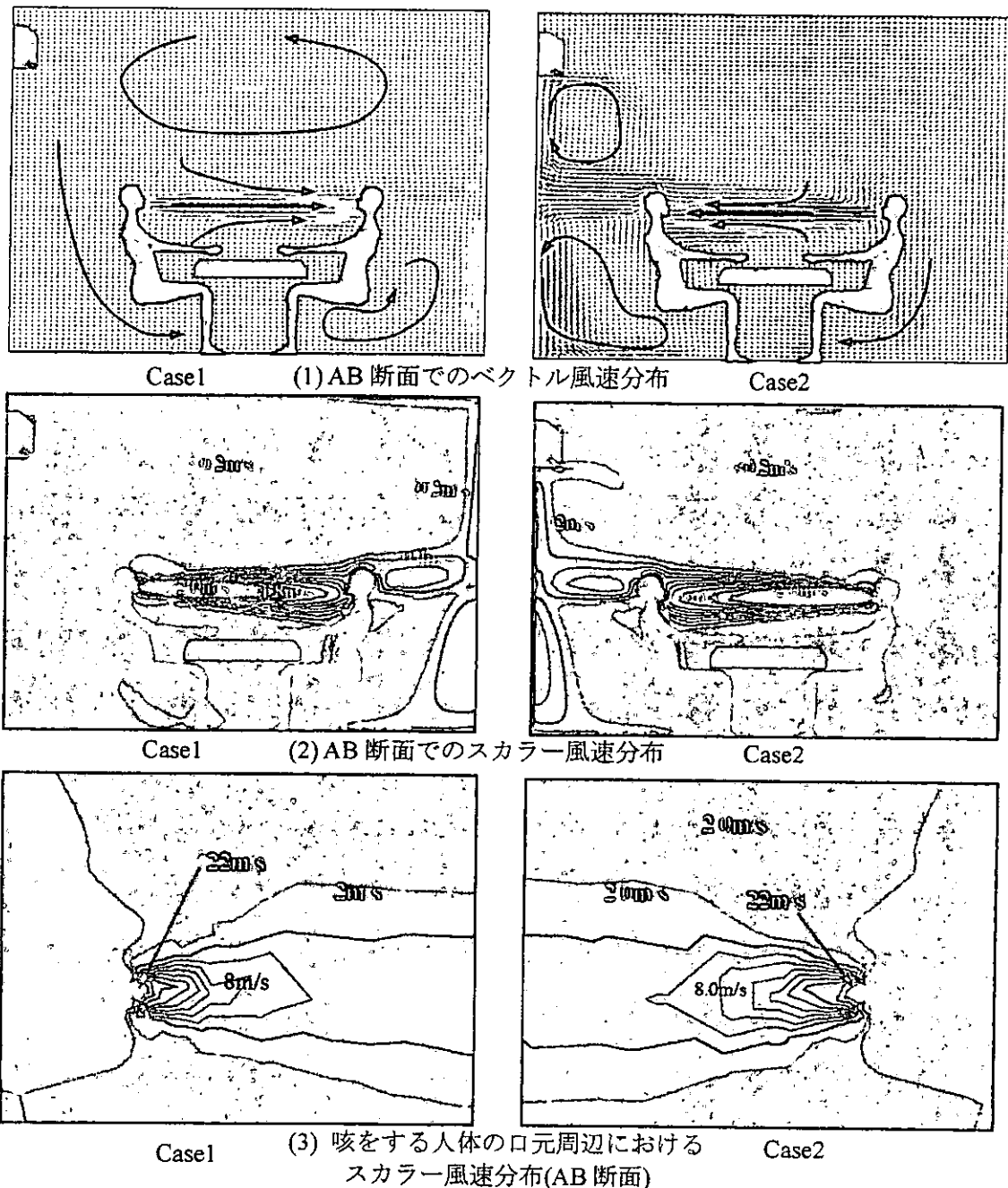


図 4.3.2 待合わせ室の場合での風速分布

2) CFD モデル及び境界条件

流れ場解析は標準 $k-\epsilon$ モデル (3次元) に基づき、計算アルゴリズムは SIMPLE 法、差分スキームは一次精度風上法を用いる。壁面では、風速に対して一般化対数則を適用し、温度場は人体表面において対流熱伝達量を与えている。ここで、比較の便宜のため、全ての人体モデルに対し、対流熱伝達量の総量 (33.8W/人) を等しくしている。そのほかの壁は断熱とする。各境界条件の設定は具体的に表 4.3.1 に参照する。室内の定常な流れ場、温度場を得られた後、トレーサガス拡散解析により、咳によるエアロゾルの濃度分布を検討する。

3) 解析メッシュ

ケース 1 と 2 は、モデル空間の対称性を考慮し、半分の領域のみを計算し、空間メッシュ数が約 44.6 万。又、ケース 3 の空間メッシュは約 57.2 万。ケース 4 の空間メッシュは約 57.1 万。

4) 咳によるエアロゾル汚染質の濃度分布の解析手法

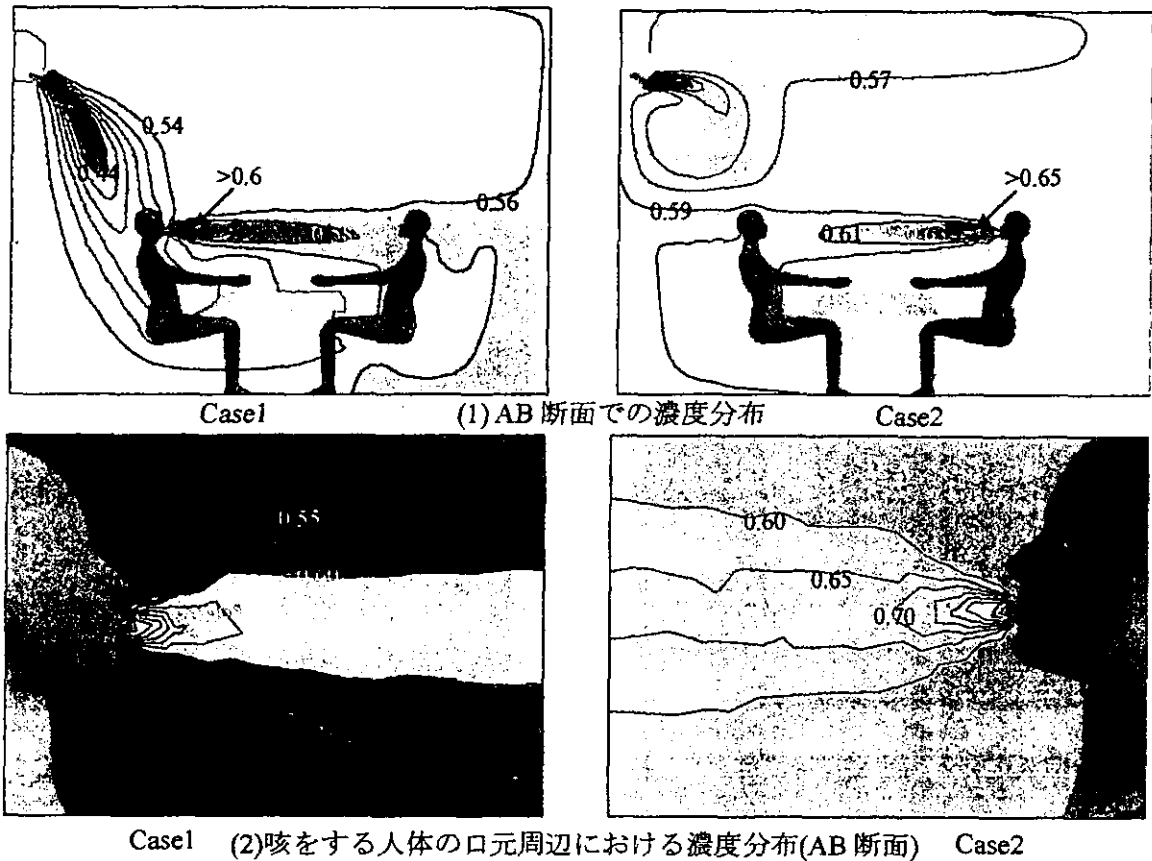


図 4.3.3 打ち合わせ室の場合での濃度分布

人体周辺の咳によるエアロゾル汚染質濃度は、SARS 感染者の口を室内換気における吹出口の一つと見立て、SVE4(Scale for ventilation efficiency 5:吹出口の勢力範囲)として算出する⁶⁾。SVE4は、複数の吹出口を備えた室内において、ある特定の吹出口からの空気の室内での分布性状を示す指標であり、式(1)により定義される。ここで、咳による吐出空気のエアロゾル濃度が1を設定したため、それぞれの場所での数値は周辺空気との混合により希釈されるエアロゾル濃度を示しており、咳の発生からある時間経過後に最大になる際の濃度を表すものと考えられる。

$$SVE4 = \frac{C_x(x, n)}{C_0(n)} \quad \dots \quad (1)$$

n : 吹出口番号

$C_x(x, n)$: 初期条件として室内 n 番吹出口濃度 $C_0(n)$ の上条件で、濃度輸送 方程式を解いて得られる位置 x での濃度

4. 3. 3 シミュレーション結果

(1) 待合わせ室の場合 (ケース1と2)

A. 流れ場 (図4.3.2)