

オフィス空間を対象とした規準化居住域濃度のCFD解析 (その3) 各種空調条件下における汚染質拡散場の解析

正会員 高橋 雄司 (川本工業)
正会員 宮崎 康往 (川本工業)

正会員 ○菊池 世啓 (川本工業)
正会員 小林 信行 (東京工芸大学)
正会員 伊藤 一秀 (東京工芸大学)

1. 目的

前報^{文3)}では、非等温条件下におけるモデルオフィス内の流れ場と温度場の性状を報告した。本報では、特に汚染質拡散場と規準化居住域濃度に着目してその解析結果を報告する。

2. 規準化居住域濃度

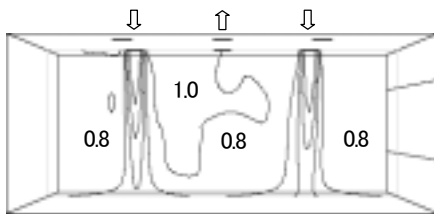
規準化居住域濃度 (Cn) は、居住域平均汚染質濃度 (Cp) と定常完全混合状態の場合の汚染質濃度 (Ce) との比 (Cn=Cp/Ce) を示す (居住域は床上1.8 m)。空気調和・衛生工学会の換気規格HASS102換気規準^{文1)}における換気量算定では、室内汚染質濃度場が不完全混合の場合、規準化居住域濃度を考察することにより必要換気量の増減が可能となっている。規準化居住域濃度は室形状、換気方式、汚染質発生位置などにより変化する。

3. 解析概要

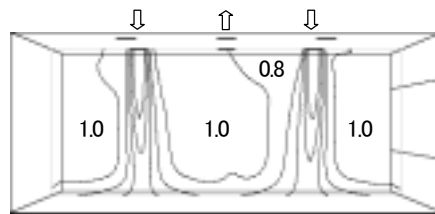
解析対象オフィス、計算および解析条件は前報を参照。汚染質は passive contaminant と仮定し空間全体で一様発生させる。吹出気流の汚染質濃度は0と仮定している。

表1 Ar数, Re数, 居住域平均スカラー風速と規準化居住域濃度

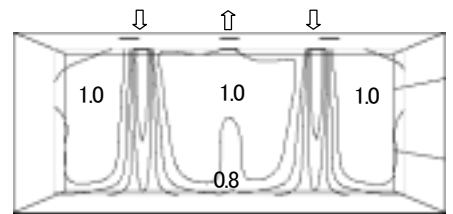
CASE	運転	Ar数 ^{*1}	Re数 ^{*1}	U	Cn
1-1	冷房(低温吹出)	-0.347	14418	0.11	0.92
1-2	冷房(一般空調)	-0.085	23016	0.13	1.02
1-3	冷房(温度差小)	-0.002	76786	0.54	0.96
1-4	暖房(温度差小)	0.003	72685	0.34	0.93
1-5	暖房(一般空調)	0.095	21825	0.09	1.29
1-6	等温吹出	0	17920	0.09	0.90
2-1	冷房(低温吹出)	-0.347	14418	0.11	1.02
2-2	冷房(一般空調)	-0.085	23016	0.13	1.02
2-3	冷房(温度差小)	-0.002	76786	0.53	1.03
2-4	暖房(温度差小)	0.003	72685	0.35	1.01
2-5	暖房(一般空調)	0.095	21825	0.12	0.89
2-6	等温吹出	0	17920	0.09	1.08
3-1	冷房(低温吹出)	-35.822	8631	0.10	0.99
3-2	冷房(一般空調)	-8.72	13829	0.23	0.90
3-3	冷房(温度差小)	-0.236	46071	0.17	1.54
3-4	暖房(温度差小)	0.263	43631	0.26	1.18
3-5	暖房(一般空調)	9.726	13095	0.11	1.30
3-6	等温吹出	0	5271	0.04	1.18



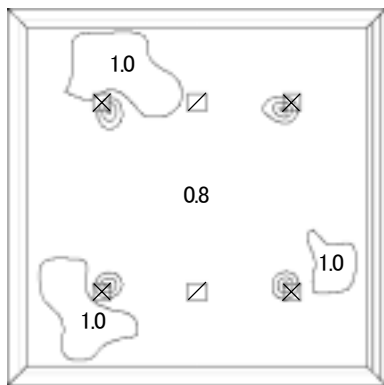
(1) X-Z 断面拡散場 (Cn=0.92)



(1) X-Z 断面拡散場 (Cn=1.02)



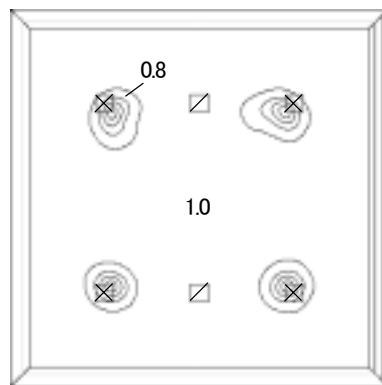
(1) X-Z 断面拡散場 (Cn=0.96)



(2) X-Y 断面拡散場 (床上1.1m)

図1 CASE1-1 拡散場

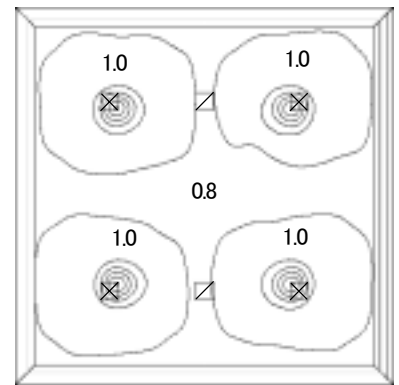
(Tin=10°C, Uin=0.67m/s, 3.9回/h)



(2) X-Y 断面拡散場 (床上1.1m)

図2 CASE1-2 拡散場

(Tin=16°C, Uin=1.07m/s, 6.3回/h)



(2) X-Y 断面拡散場 (床上1.1m)

図3 CASE1-3 拡散場

(Tin=23°C, Uin=3.58m/s, 21.0回/h)

4. 結果と考察

表1に各CASEのAr数、Re数、居住域平均スカラー風速 ($U, m/s$) と規準化居住域濃度 (C_n) を示す (表には等温吹出の結果も記載)。図1~15に拡散場 (無次元濃度 C/C_e C : 汚染質濃度) の解析結果を示す。

4.1 CASE1 (天井吹出・天井吸込方式)

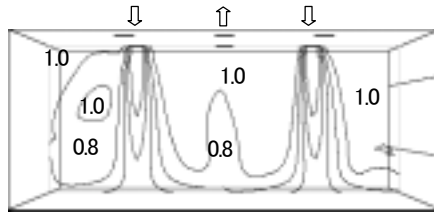
CASE1-1 (図1) 空間は、吹出気流の到達域を除き、ほぼ0.8。一部には1.0の場所がある。低温の吹出気流が空間下部に到達すると、空間上部の空気が天井の吸込口から排出されるため空間全体が低濃度になると考える。**CASE1-2 (図2)** 居住域は、吹出気流の到達域を除き、ほぼ1.0で完全混合に近い。**CASE1-3 (図3)** 居住域は、吹出気流の到達域を除き1.0。吹出気流を中心とした濃度分布がみ

られる。吹出気流が互いに衝突する床面付近では0.8になっている。**CASE1-4 (図4)** 濃度分布の性状はCASE1-3に似ている。**CASE1-5 (図5)** 吹出気流は床面まで到達しないため、床付近では空気が滞留し濃度が高くなっている。床の一部には1.8以上の高濃度領域が存在する。

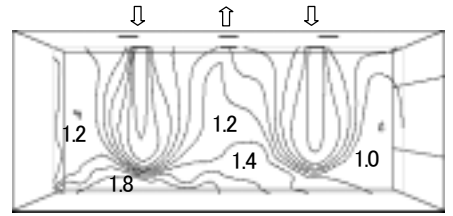
4.2 CASE2 (天井吹出・床近傍吸込方式)

CASE2-1 (図6) 居住域は、吹出気流の到達域を除き、1.0で一部0.8。居住域の濃度はCASE1-1と比較してやや高く

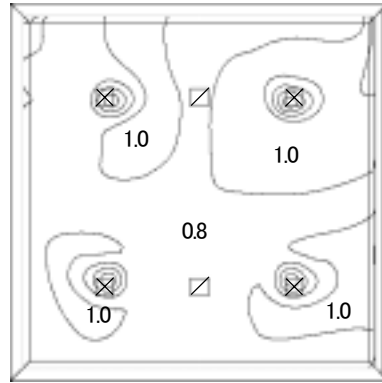
なっている。**CASE2-2 (図7)** 室内は、吹出気流の到達域を除き、1.0で一部0.8。**CASE2-3 (図8)** 居住域は1.0。一部に0.8や1.2などがみられる。吹出気流(23°C)が、吹出口~床~吸込口と流れ、床近傍が0.8になっている。1.2の領域は、滞留域である。**CASE2-4 (図9)** 室内は、ほぼ1.0である。床の0.8以下の領域がCASE2-3より大きくなっている。**CASE2-5 (図10)** 空間上部は0.4~0.8、床近傍は1.0である。吹出気流が床上0.3mの高さで上昇するため、



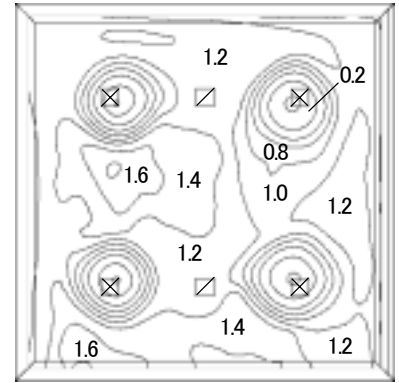
(1) X-Z 断面拡散場 ($C_n=0.93$)



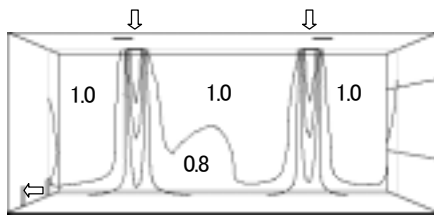
(1) X-Z 断面拡散場 ($C_n=1.29$)



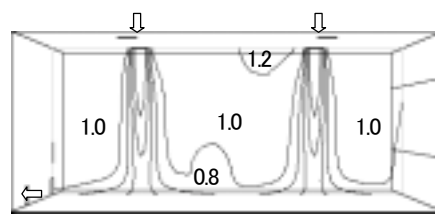
(2) X-Y 断面拡散場 (床上1.1m)
図4 CASE1-4 拡散場
($T_{in}=25^{\circ}C, U_{in}=3.39m/s, 19.9$ 回/h)



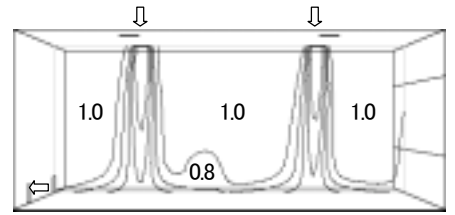
(2) X-Y 断面拡散場 (床上1.1m)
図5 CASE1-5 拡散場
($T_{in}=32^{\circ}C, U_{in}=0.85m/s, 6.0$ 回/h)



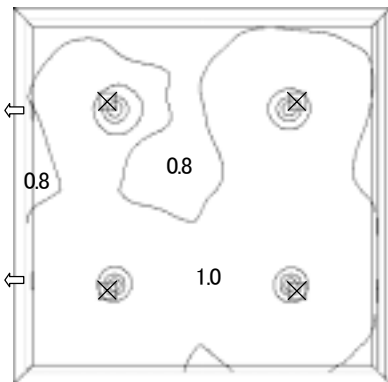
(1) X-Z 断面拡散場 ($C_n=1.02$)



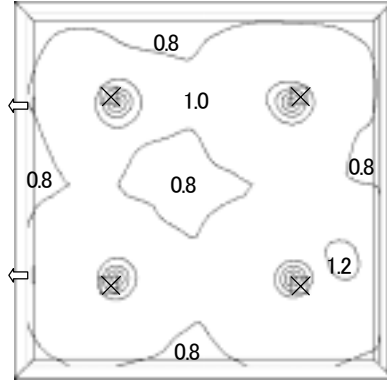
(1) X-Z 断面拡散場 ($C_n=1.02$)



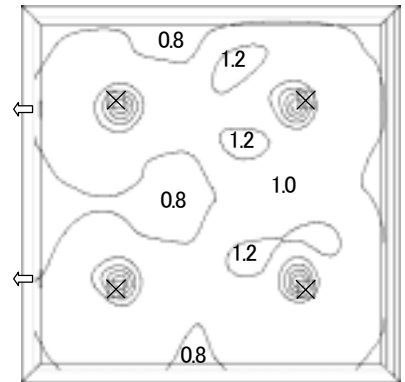
(1) X-Z 断面拡散場 ($C_n=1.03$)



(2) X-Y 断面拡散場 (床上1.1m)
図6 CASE2-1 拡散場
($T_{in}=10^{\circ}C, U_{in}=0.67m/s, 3.9$ 回/h)



(2) X-Y 断面拡散場 (床上1.1m)
図7 CASE2-2 拡散場
($T_{in}=16^{\circ}C, U_{in}=1.07m/s, 6.3$ 回/h)



(2) X-Y 断面拡散場 (床上1.1m)
図8 CASE2-3 拡散場
($T_{in}=23^{\circ}C, U_{in}=3.58m/s, 21.0$ 回/h)

床近傍は滞留域となり、濃度が高くなっている。

4.3 CASE3 (床近傍吹出・天井吸入方式)

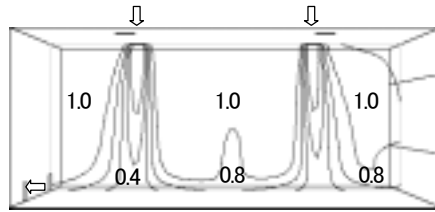
(1) CASE3-1 (図 11) 居住域は 0.8~1.4。低温の吹出气流が床面に沿って流れ、対向壁まで到達する。そのため床と窓側部分の濃度が低い。吹出口側の空間上部は滞留域となり濃度が高くなっている。CASE3-2 (図 12) 居住域は 0.8。空気の供給・排出が効率よく行われてる。CASE3-3 (図 13) 室内は上下方向に濃度分布がある (0.1~1.8)。吹出气流は、吹出口~対向壁~天井と流れるため、床付近の濃度が低い。空間上部は滞留域になり濃度が高い。CASE3-4 (図 14) 居住域は、0.2~1.4。居住域内は、吹出气流の到達域において極端に濃度が低く、その他の領域は極端

に高くなっている。CASE3-5 (図 15) 室内は、吹出口~上昇~天井~吸入口という流れ天井部は濃度が低い。天井部以外は、居住域のほとんどが滞留域となり濃度が高い。

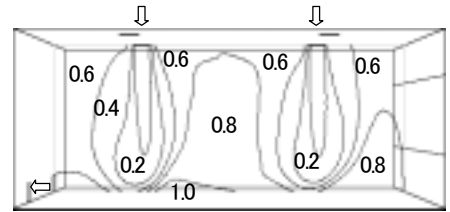
4.4 規準化居住域濃度 Cn

図 16~18 に各解析ケースにおける Ar 数と Cn の相関図、および Re 数と Cn の相関図を示す。

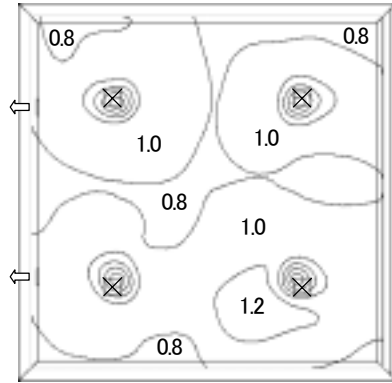
吸入口が室上部に設置されている CASE1 では、Ar 数が大きい場合 (CASE1-5) に Cn が 1 を大きく越える (図 16(1))。



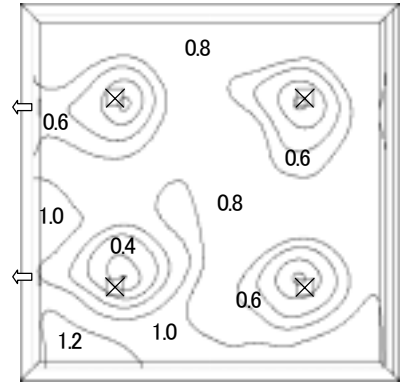
(1) X-Z 断面拡散場 (Cn=1.01)



(1) X-Z 断面拡散場 (Cn=0.89)



(2) X-Y 断面拡散場 (床上 1.1m)
図 9 CASE2-4 拡散場
(Tin=25°C, Uin=3.39m/s, 19.9 回/h)

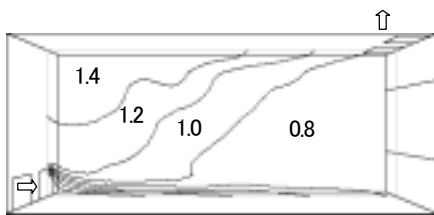


(2) X-Y 断面拡散場 (床上 1.1m)
図 10 CASE2-5 拡散場
(Tin=32°C, Uin=0.85m/s, 6.0 回/h)

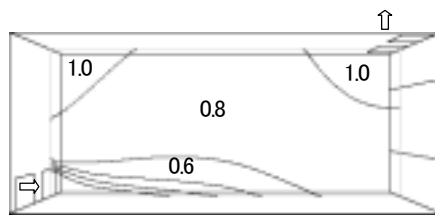
その他の運転条件では、Ar 数および Re 数の変化は Cn に大きく影響せず、ほぼ 1.0 前後 (ほとんどが 1.0 を下回る) の値となる。

吸入口が室下部の居住域内に設置されている CASE2 では、Ar 数および Re 数の変化は Cn に大きく影響せず、ほぼ 1.0 前後 (ほとんどが 1.0 を上回る) の値となる。

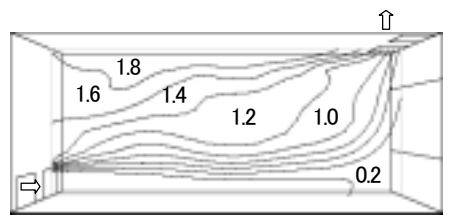
置換換気型の CASE3 では、吹出風速、吹出温度および熱的境界条件により Cn の値は大きく変化する。冷房時は Re



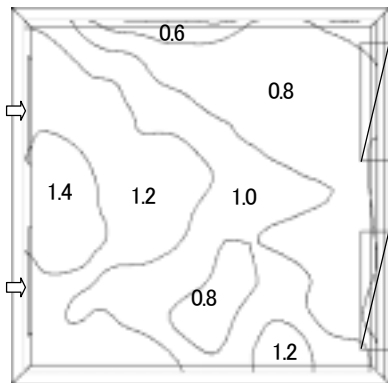
(1) X-Z 断面拡散場 (Cn=0.99)



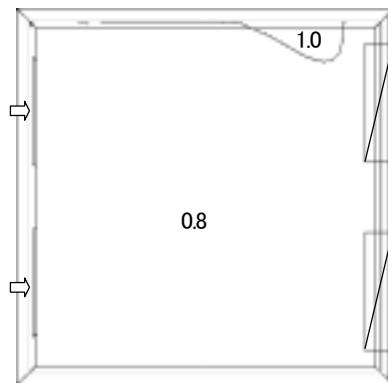
(1) X-Z 断面拡散場 (Cn=0.90)



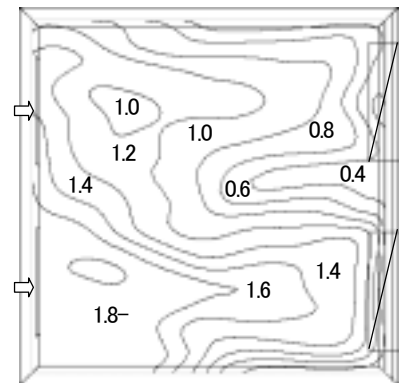
(1) X-Z 断面拡散場 (Cn=1.54)



(2) X-Y 断面拡散場 (床上 1.1m)
図 11 CASE3-1 拡散場
(Tin=10°C, Uin=0.12m/s, 3.9 回/h)



(2) X-Y 断面拡散場 (床上 1.1m)
図 12 CASE3-2 拡散場
(Tin=16°C, Uin=0.19m/s, 6.3 回/h)



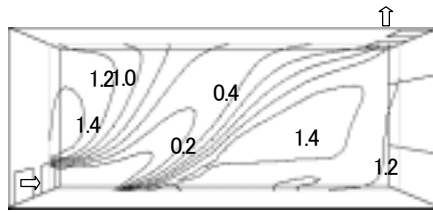
(2) X-Y 断面拡散場 (床上 1.1m)
図 13 CASE3-3 拡散場
(Tin=23°C, Uin=3.58m/s, 21.0 回/h)

数、Ar 数が共に小さい CASE3-1 および3-2においてCnの値は1.0を下回る。置換換気システムを有効に機能させるためには、吹出風速、吹出温度および熱的境界条件の3者のバランスに配慮することが重要である。

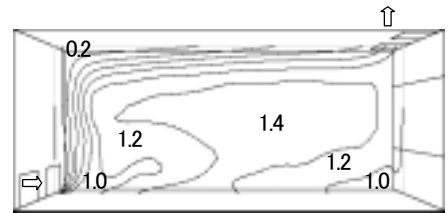
5. 結論

今回の解析結果から、Ar 数とCn、の関係について以下の知見が得られた。

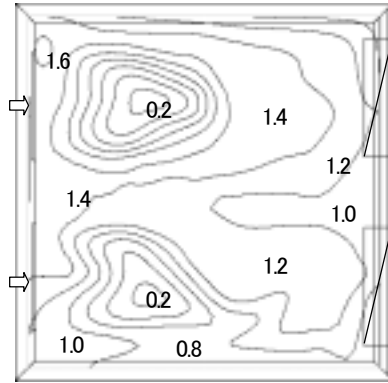
- ①CASE 1 と CASE 3 の場合は、Ar 数が小さいと、Cn が1を下回る（冷房の場合、Cn が1より小さくなる）。
- ②CASE 1 と CASE 3 の場合、Ar 数が大きいと、Cn が1を大きく上回る場合がある。
- ③CASE 2 の場合はAr 数、Re 数にCn は強く依存せず、すべてのCASE で1.0前後の値となる。
- ④CASE 3 の場合、Cn はAr 数、Re 数の変化に強く依存し、Cn の値は大きく変動する。



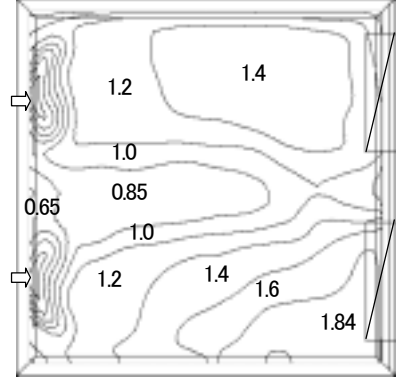
(1) X-Z 断面拡散場 (Cn=1.18)



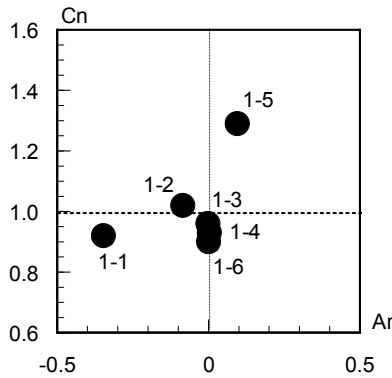
(1) X-Z 断面拡散場 (Cn=1.30)



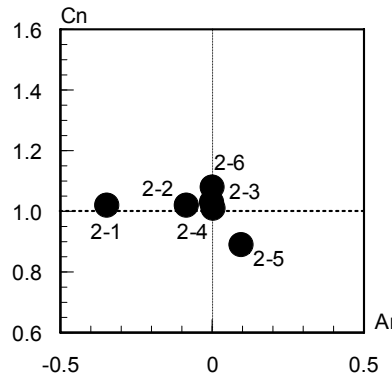
(2) X-Y 断面拡散場 (床上1.1m)
図14 CASE3-4 拡散場
(Tin=25°C, Uin=0.61m/s, 19.9回/h)



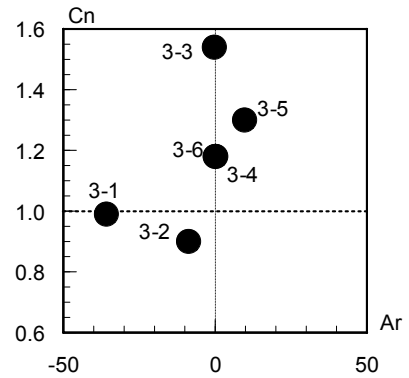
(2) X-Y 断面拡散場 (床上1.1m)
図15 CASE3-5 拡散場
(Tin=32°C, Uin=0.18m/s, 6.0回/h)



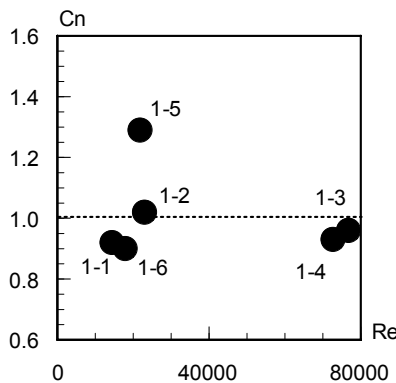
(1) Ar-Cn 相関図



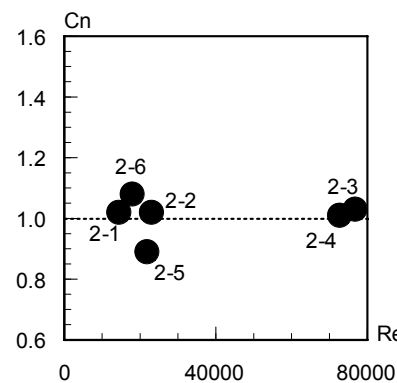
(1) Ar-Cn 相関図



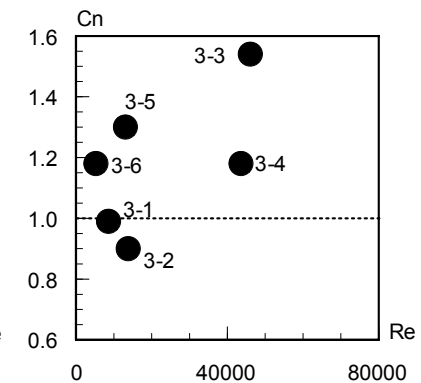
(1) Ar-Cn 相関図



(2) Re-Cn 相関図



(2) Re-Cn 相関図



(2) Re-Cn 相関図

図16 CASE1

図17 CASE2

図18 CASE3

※1) Ar 数($=g \cdot \beta \cdot \theta \cdot L_0 / U_0^2$)、Re 数($=U_0 \cdot L_0 / \nu$)の代表長さ L_0 は吹出口面積の平方根、 θ は(吹出し温度-室温)にて算出。<参考文献> 1) HASS102⁻¹⁹⁹⁷ 換気規準・同解説、空気調和・衛生工学会規格、1997.10 2) オフィス空間を対象とした規準化居住域濃度のCFD解析(その1)空調方式の違いによる検討(等温吹出) 菊池・小林ほか、2001年度日本建築学会大会投稿 3) オフィス空間を対象とした規準化居住域濃度のCFD解析(その2)各種空調条件下における流れ場・温度場の解析、宮崎・小林ほか、2001年度空気調和衛生工学会大会投稿 4) 換気システムを変化させた場合の規準化居住域濃度、Visitation Frequency、Purging Flow Rate の系統的解析(第1報)加藤・伊藤・村上、空気調和・衛生工学会論文集 2000年78号<謝辞>本研究では岡田祐介氏、森川菜津子氏(当時東京工芸大学小林研究室学生)に多大な協力を得ました。ここに記し深く感謝いたします。