

# CFD 解析による無菌治療室を対象とした垂直 / 水平層流方式の換気効率評価

大阪市立大学工学部建築学科建築環境工学研究室 徳原 盛孝

## 研究背景と研究目的

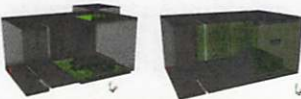
### 研究背景

H24年4月より無菌治療室管理加算に関するガイドラインが改定

垂直 / 水平層流方式を導入した無菌治療室が求められる。

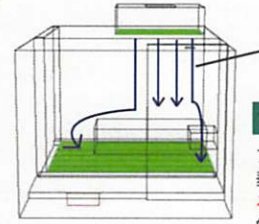
既設の病室にも比較的簡易に導入可能な換気システムが好ましい。

ブロック環境制御ユニットを用いた垂直 / 水平層流方式の提案



### 考えられるメリット

- ・ベッドエリア部での清浄度強化に有効
- ・垂直 / 水平層流方式への納得性も高い
- ・塵埃の滞留エリアの削減
- ・清浄空気の到達距離の強化
- ・工事内容の軽減化



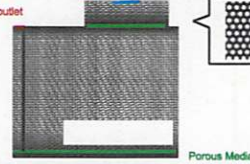
- ベッドエリア部の清浄度強化
- 垂直 / 水平層流方式の納得性

### 研究目的

ブロック環境制御ユニットを用いた垂直 / 水平層流方式の「病室に対する換気システムの換気効率」を定量的に評価するために、CFD 解析を行う

## パンチングメタル / ダクトパネルの圧力損失特性取得を目的とした CFD 解析

計算負荷の観点から、パンチングメタル等の詳細まで再現しながら室全体を解析することは厳しい(メッシュ数の限界)。あらかじめCFD解析を用いてパンチングメタル等の圧力損失特性を明らかにして、基礎方程式(運動量保存式)に運動量損失項としてその影響だけを組みこみ、無菌治療室のCFD解析を行う。



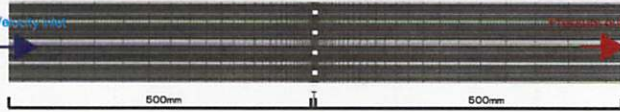
運動量保存の式に以下の圧力損失(粘性抵抗+慣性抵抗)を加える。

$$\Delta p_i = - \left( \frac{\mu}{a} + C_{2i} \frac{1}{2} \rho v \right) \Delta n$$

係数  $a$  と  $C_{2i}$  を詳細解析に基づき設定

- $\Delta p$ : 圧力損失 [Pa]
- $\mu$ : 流体粘度 [kg/(m·s)]
- $a$ : 粘性抵抗係数 [m<sup>2</sup>]
- $v$ : 速度 [m]
- $C_{2i}$ : 慣性抵抗係数 [1/m]
- $\rho$ : 水密度 [kg/m<sup>3</sup>]
- $\Delta m$ : 媒体の厚み [m]

### 解析領域



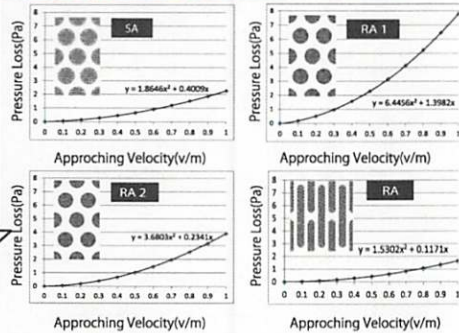
パンチングメタル				
	SA面	RA面 1	RA面 2	RA面
直径	3mm	3mm	8mm	
ピッチ	4mm	5mm	12mm	
開口率	50.90%	32.60%	40.20%	58.50%
W	13.856mm	17.32mm	24mm	54mm
H	1.2mm	3mm	3mm	1.2mm
メッシュ数	205920	338988	673024	649704

### 解析条件

CFD Code	ANSYS Fluent 14.5
数値解析スキーム	QUICK
境界条件	定常計算 (SIMPLE)
流入	速度 (0.1m/sから1.0m/sまで(0.1m/s刻み))
流出	K, ε: 標準渦度と乱れの長さスケールに基づく 乱流強度=1.0%, 長さスケール=10mm
壁面	圧力損失係数(ゲージ圧)による
対称面	対称面: Free Slip境界
格子数	205, 200(0=3.0, P=4.0 開口率50.9%) 338, 988(0=3.0, P=5.0 開口率32.6%) 673, 024(0=8.0, P=12.0 開口率40.2%) 673, 704(開口率58.5%)
乱流モデル	標準k-εモデル(SKE) 低レイ数k-εモデル(Low-Re-kε) 乱力方程式モデル(RSM)

各モデルにおいて、SKE/RSM/Low-Re-kεの結果に差がほぼなかったため、SKEモデルの結果を本解析に用いる。

### 圧力損失特性グラフ



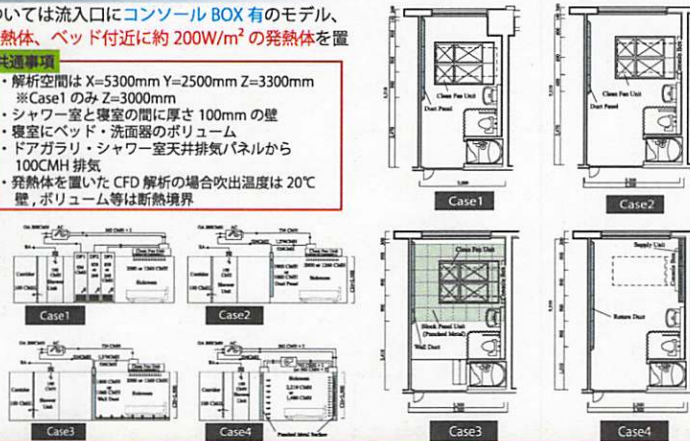
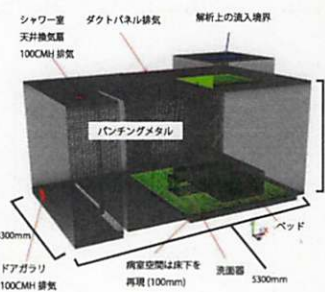
## 無菌病室のCFD解析概要

### 解析領域

Case1~4のモデルの比較に加え、Case4については流入口にコンソールBOX有のモデル、Case3,4についてはベッド上に40W/m<sup>2</sup>の発熱体、ベッド付近に約200W/m<sup>2</sup>の発熱体を用いたモデルとの換気効率の比較も行う。

### 共通事項

- ・解析空間は X=5300mm Y=2500mm Z=3300mm ※Case1のみZ=3000mm
- ・シャワー室と寝室の間に厚さ100mmの壁
- ・寝室にベッド・洗面器のポリウム
- ・ドアガラリ・シャワー室天井排気パネルから100CMH排気
- ・発熱体を置いたCFD解析の場合吐出温度は20℃壁、ポリウム等は断熱境界



### 室内換気効率の評価方法

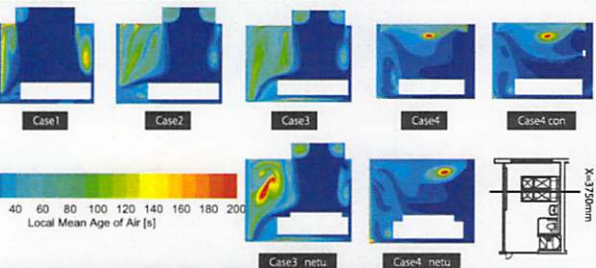
換気システムが室の空気を交換する能力を表現する方法(室平均空気齢、空気交換効率)を用いる。

### 解析条件

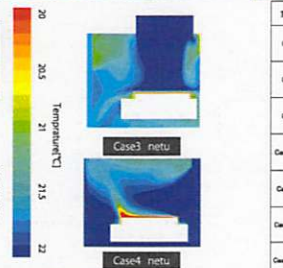
CFDコード	ANSYS Fluent 14.5
数値解析スキーム	QUICK
境界条件	定常計算 (SIMPLE)
流入	Case1 (従来のダクトパネル) 1260CMH 2000CMH Case2 (下部解放ダクトパネル) 1260CMH 2000CMH
流出	Case3 (標準層流) 2000CMH Case4 (水平層流) 2000CMH 2160CMH 2210CMH
壁面	K, ε: 乱流強度と乱れの長さスケールに基づく 乱流強度=0.04%, 乱れの長さスケール=0.4x10mm 乱気流と標準渦度に基づく乱流係数を設定 壁面・標準渦度係数(一般化対称面)
対称面	Case1 - 4.239,620(従来のダクトパネル) Case2 - 4.084,250(下部解放ダクトパネル) Case3 - 2.835,802(標準層流)
格子数	Case4 ori: 3,547,290(水平層流・コンソールパネル有) Case4 mas: 3,797,340(水平層流・コンソールパネル有)
乱流モデル	標準k-εモデル(SKE)
パネル化手法	詳細解析の圧力損失特性に基づき、運動量保存式に消費項の式を付加

## CFD解析結果と比較と考察

### 空気齢の分布 (YZ断面)



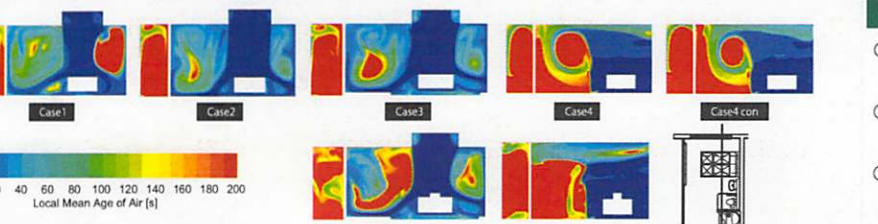
### 温度分布 (Case3,4)



### 換気効率表

Case	室容積 [m <sup>3</sup> ]	入口空気齢 [s]	出口空気齢 [s]	平均空気齢 [s]	平均空気交換率 [1/h]	Case	室容積 [m <sup>3</sup> ]	入口空気齢 [s]	出口空気齢 [s]	平均空気齢 [s]	平均空気交換率 [1/h]				
Case1	38,209	58	2000	58.8	34.2	112.4	1.8	Case1	20,219	58	2000	58.8	34.2	112.4	1.8
Case2	43,725	58	1280	108.4	32.8	187.4	1.7	Case2	22,888	58	1280	54.8	35.0	138.2	1.2
Case3	44,578	20	2000	80.2	44.8	134.8	1.7	Case3	23,020	20	2000	41.8	38.8	97.7	1.8
Case3-netu	44,578	20	2000	80.2	44.8	134.8	1.7	Case3-netu	23,020	20	2000	41.8	38.8	97.7	1.8
Case4	43,725	30	1480	108.4	32.8	187.4	1.7	Case4	21,688	30	1480	63.2	34.8	117.1	1.8
Case4-netu	43,725	30	1480	108.4	32.8	187.4	1.7	Case4-netu	21,688	30	1480	63.2	34.8	117.1	1.8

### 空気齢の分布 (XY断面)



### まとめ

- 各Caseでの比較
  - ・水平層流方式(Case4)より垂直層流方式(Case3)のほうが換気効率が良い。
  - ・従来のダクトパネル方式(Case1,2)と垂直層流方式と差があまり見られない。
- Case4 コンソールパネル有無での比較
  - ・換気効率としての数字の差はあまり見られない。
  - ・無しに比べ、ベッド上に空気齢の高い空気が溜りやすくなっている。
- Case3,4 発熱体有無での比較
  - ・発熱体有りが無しに比べ、寝室内での換気効率が悪くなっている。
  - ・Case4が大きく非等温での換気効率に影響が出ている。