

クリーンルーム内の気流シミュレーション

寿上 宏司(としがみ こうじ)

平櫛 ゆかり(ひらぐし ゆかり)

松本 悟史(まつもと さとし)

1 まえがき

富士電機のクリーンルーム設計では、市販の流れ解析プログラムがほとんどなかった10年以上前から自社開発プログラムによる気流解析を適用し、その利用技術を蓄積してきた^{(1), (2)}。最近では、実績のある汎用の市販プログラムを導入することで製品開発サイクルの短縮に対応している。

本稿ではそうした適用例のなかから、無人搬送車の走行を再現した三次元気流シミュレーション^{(3), (4)}、およびクリーンブースの二次元気流シミュレーションについて述べる。

2 自動搬送車まわりの三次元気流解析

無人搬送車の通過に伴う気流の乱れは、床面のほこりを巻き上げ、輸送している製品を汚染する可能性がある。その状況把握と解析プログラムの検証を目的として、 $k-\epsilon$ 二方程式乱流モデルを用いた有限体積法による三次元非定常解析を行った。

2.1 解析対象

図1に解析対象および解析モデルを示す。通路の天井のHEPA (High Efficiency Particulate Air) フィルタ (高

性能フィルタ) から一定速度で空気が吹き出し、床部のグレーチング部を通過して床下に流出する。この通路上を、静止状態のウェーハカセットを積んだ搬送車が、図1中のx方向に動き出してから停止するまでをシミュレートする。

2.2 移動座標系を用いた解析

2.2.1 解析モデル

解析領域は、中央に搬送車を配した無限に続く通路の一部を想定している。流れは発達した乱流とする。また、床下のグレーチング部を通過する流体には、その流路抵抗に相当した外力を与える。搬送車の壁面および通路の側壁面には摩擦を考慮する。解析には有限体積法による熱・流れ解析ソフトウェア STAR-CD^(注1)を用いる。

搬送車の動きの再現方法は、搬送車を止めて、周りの壁や空気を搬送車の進行方向と逆方向に動かしたものの(移動座標系での解析)として行う。

2.2.2 解析結果

図2は、台車が停止した直後の速度分布図を、搬送車の後ろ上方から見た図である。HEPA フィルタから吹き出

〈注1〉 STAR-CD は英国 Computational Dynamics Limited の登録商標

図1 自動搬送車の形状と解析モデル

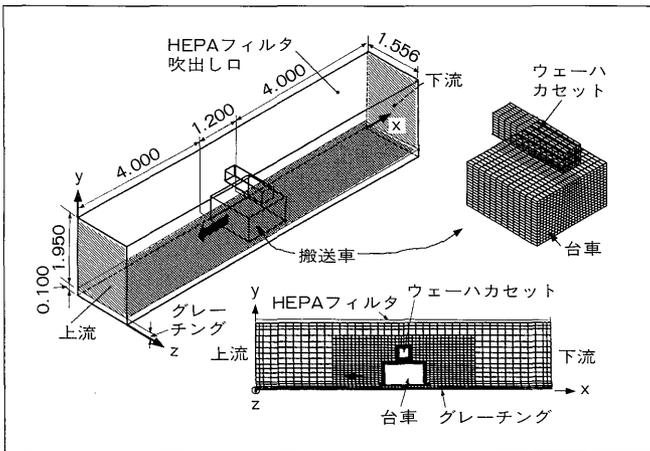
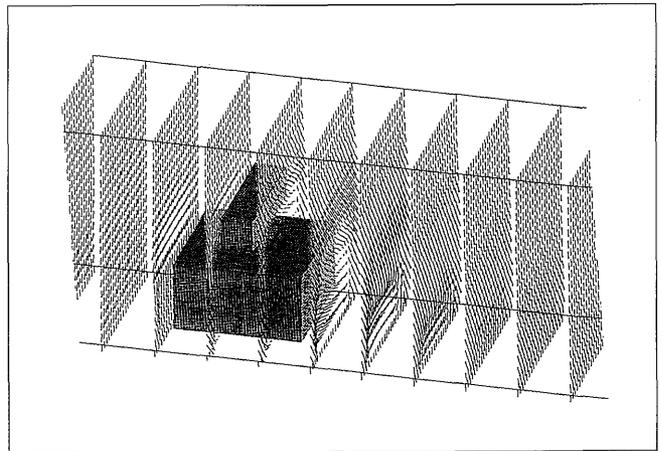


図2 自動搬送車まわりの気流解析の結果 (移動座標系を使用)



寿上 宏司

技術計算支援業務に従事。現在、システム事業本部 SI センター商品開発室第一開発部主任。



平櫛 ゆかり

熱・流れ解析業務に従事。現在、システム事業本部 SI センター商品開発室第一開発部。



松本 悟史

熱・流れ解析業務に従事。現在、システム事業本部 SI センター商品開発室第一開発部。

した空気は、台車およびウェーハカセットの後方で複雑な渦を形成しているように見えるが、台車後方の渦は、ウェーハカセットまで到達していない。

これを同じ条件の実験結果（図3）と比較すると、シミュレーション結果では台車およびウェーハカセット後方の渦の存在およびその発達具合などがよく再現されており、その妥当性がうかがえる。

2.3 スライディングメッシュを用いた解析

2.3.1 解析モデル

次に同様のモデルを実際に搬送車をその周囲のメッシュ

図3 模型を用いた可視化実験の結果

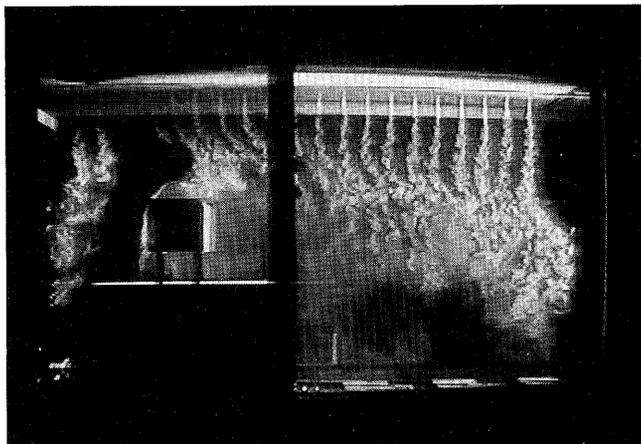
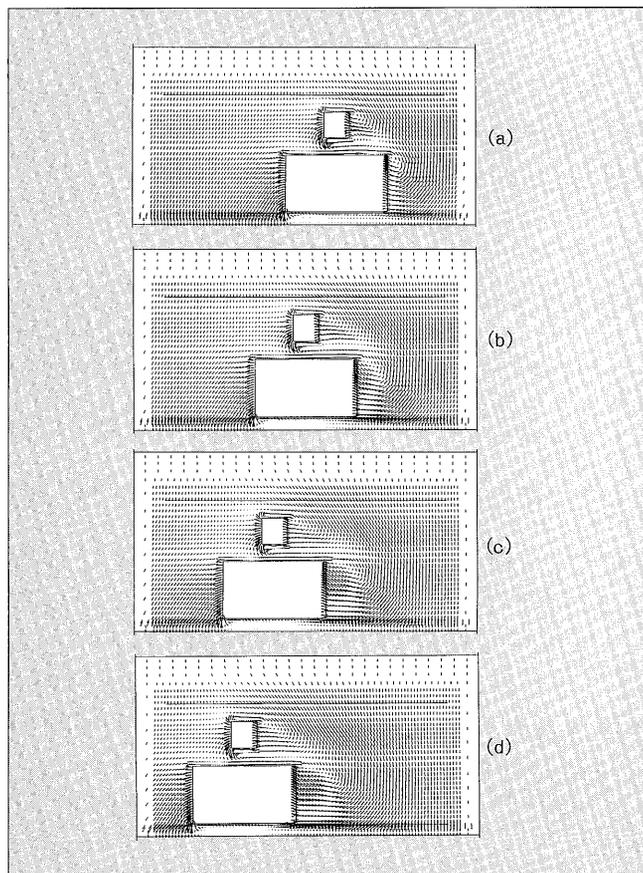


図4 自動搬送車まわりの気流解析の結果（スライディングメッシュを使用）



ごと動かして（スライディングメッシュを用いて）解析した。ただし今回は、その試行段階として、無限に続く通路を搬送車が一定速度で走行しているという条件で解析した。

2.3.2 解析結果

図4にその結果を、通路上に止めた視点で見たものを示す。これは約3秒間走行させたときの速度分布の経時変化である。図4(d)を見ると、図2と同様、搬送車およびウェーハカセット後方に大きな渦が生じているが、やはり床面からウェーハカセットまで到達すると思われる流れは発生していない。

この結果から、問題となっている床のほこりの巻き上げは生じないものと結論づけられる。

3 クリーンブースの二次元気流解析

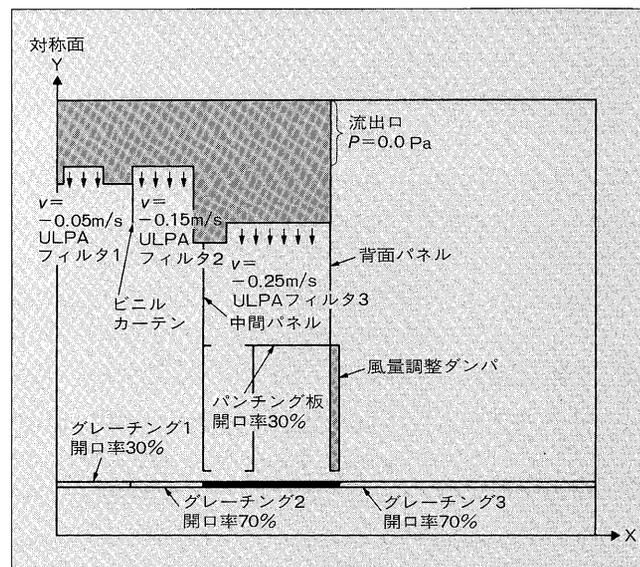
3.1 目的

ここで対象とするクリーンブースの断面形状を図5に示す。クリーンブース内は、空気を清浄に保つため、天井のULPA（Ultra Low Particulate Air）フィルタから正常な空気を吹き出し、その空気はグレーチングの下、クリーンブース外側に設置されたプレフィルタを通して循環している。この過程において、グレーチング、パンチング板下部の床付近の気流の乱れによる粉じんの舞上がりなどがあってはならない。気流の乱れは、天井からの吹出し風量、グレーチングの開口率などに影響される。そこで、シミュレーションによりグレーチングの開口率などが適切であるか検証する。

3.2 モデル化の方針

次に示す方針でモデル化を行う。なお、解析には有限体

図5 クリーンブースの解析モデルおよび解析条件（グレーチングあり）



積法による熱・流れ解析ソフトウェア PHOENICS^{〔注2〕}を用いる。

- (1) クリーンブース外側は十分広く、その形状は気流の乱れにあまり影響しないと考えられる。そこで、解析モデルを簡略化するため、クリーンブース外側は簡素化し、左右対称として右半分だけをモデル化する。
- (2) 流れは発達した乱流とし、 $k-\epsilon$ 二方程式乱流モデルを用いて解析する。
- (3) パンチング板、グレーチングの抵抗を形状圧力損失で考慮する。
- (4) 仕切り（カーテン、パネル、ダンパなど）、底面では壁による摩擦を考慮する。

〔注2〕 PHOENICS は英国 Concentration, Heat and Momentum Limited の登録商標

3.3 解析モデル

解析モデルと境界条件を図5に示す。

3.4 解析結果および考察

図6に解析結果の速度ベクトル図を示す。この図から、クリーンブース内におけるグレーチングからの舞上がりはなく、空気はきれいに循環していることが分かる。したがって、グレーチングの開口率などは適切である。

3.5 グレーチングがないクリーンブースの気流解析

床にグレーチングがない場合でも空気を清浄に保てるかを検証する目的で、二次元気流解析を行った。解析にはSTAR-CDを用いた。解析モデルと境界条件を図7に示す。

解析領域の左側を拡大した速度ベクトル図を図8に示す。

図6 クリーンブースの解析結果（グレーチングあり）

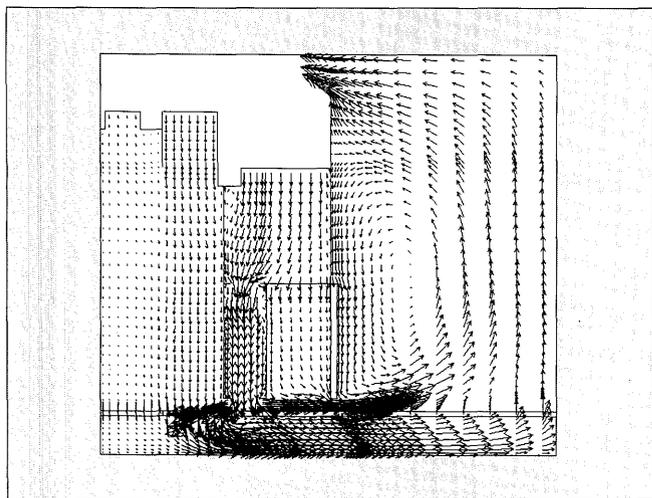


図8 クリーンブースの解析結果（グレーチングなし）

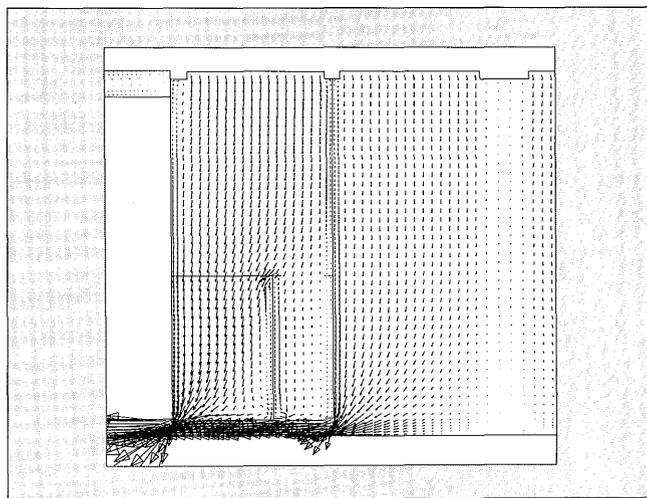
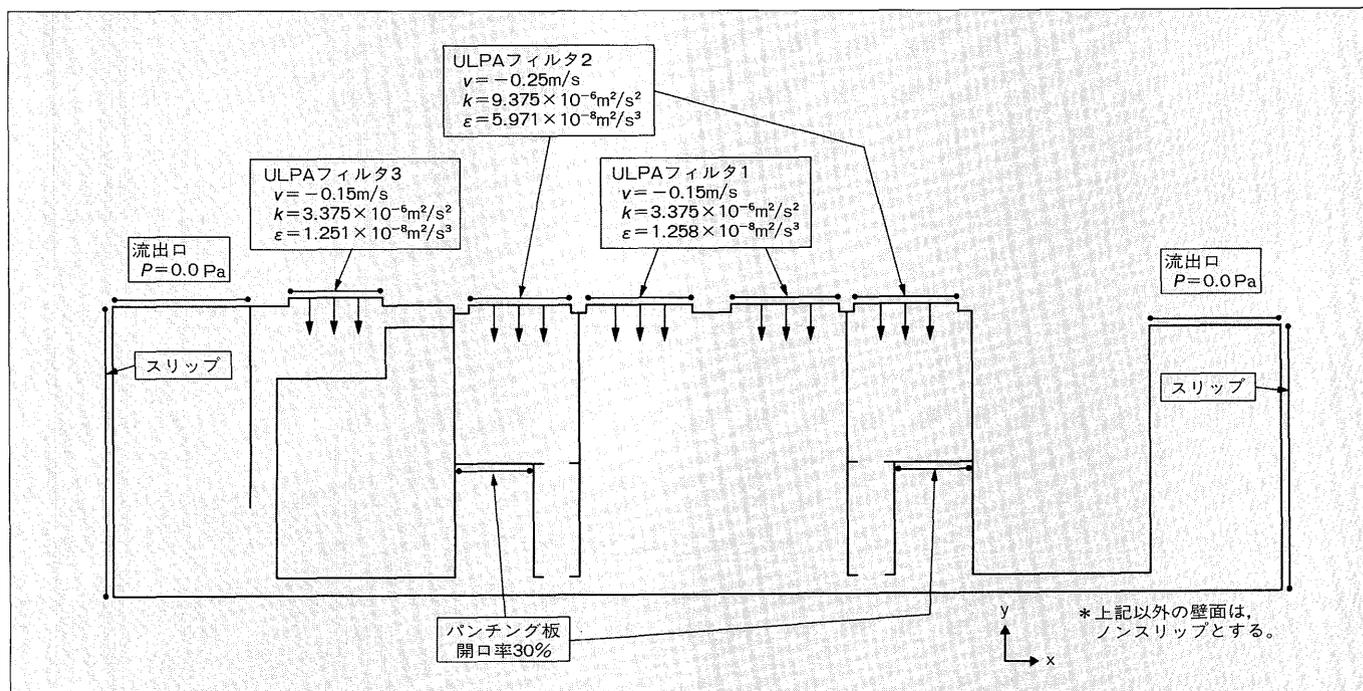


図7 クリーンブースの解析モデルおよび解析条件（グレーチングなし）



この場合も床からの舞上がりはなく、空気は清浄に保たれている。

4 あとがき

クリーンルームに関する2種類のシミュレーションについて述べた。無人搬送車まわりの気流解析は、可視化実験結果と流況がよく相似しており、クリーンルームの設計支援にシミュレーションが有効であることが分かる。現在は無限に続くと仮定した通路でのシミュレーションだけを行っているが、今後はスライディングメッシュを使用することによって、壁付近での停止時などのより実際の状況への適用が考えられる。クリーンブースの床面グレーチングの開口率を検討するための解析は、実際のクリーンルーム設計時の検討例として紹介した。

今後は、これまでに蓄積した気流シミュレーション技術のより一層の向上に努め、クリーンルーム設計に役立てていく所存である。

参考文献

- (1) 金山寛・寿上宏司：クリーンルームの気流シミュレーション，富士時報，Vol.62，No.5，p.323-328（1989）
- (2) 横幕博行ほか：自動搬送車まわりの気流解析，富士時報，Vol.66，No.4，p.258-260（1993）
- (3) 澤田朋之ほか：無人搬送車まわりの三次元気流シミュレーション，第13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予稿集，p.55-58（1995）
- (4) 松本悟史ほか：無人搬送車まわりの三次元気流シミュレーション（第二報），第14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予稿集，p.313-316（1996）

最近登録になった富士出願

[特 許]

登録番号	名 称	発 明 者	登録番号	名 称	発 明 者
2600845	前払いカード式自動販売機	中山 信男	2605250	飲料自動販売機	水谷 克己
2600920	水平偏向回路	西浦 彰 熊谷 直樹 関 康和	2605397	多出力スイッチング電源装置の起動回路	高崎 靖夫 植木 浩一
			2605433	銘板の印字方法	佐藤 一彦 小川 英雄
2600927	自動販売機の冷水供給回路	津田 修平	2605438	大電流プリント配線板	今村 一彦 唐津 了三 中嶋 幸男
2600928	電磁接触器	山崎 誠 内田 一海			
2600947	電気浸透式脱水機の濾布ベルト	鈴木 成徳 山口 幹昌	2605753	縦形バイポーラトランジスタ	重田 善弘 横須賀章泰
2600949	ロータリ破袋機	広岡 武祝 田口 一洋	2605854	過電圧保護回路を備えたスイッチ回路	熊谷 直樹
2600950	吸熱反応装置	吉岡 浩	2605860	高耐圧素子を含む半導体装置	藤島 直人
2600955	複流形蒸気タービン	坂元 浩美	2605878	スイッチングレギュレータの制御方法	野村 年弘
2600998	オイルダシュポットの製造方法	斉藤 重正 藤高 久士	2605906	袋搬出装置	藤波 正樹
2602259	文献処理装置	細川 勝美	2605910	パワーモジュール	今村 一彦 唐津 了三
2602304	複合酸化物超電導薄膜の製造方法	室井 道人 鯉沼 祐司 松井 俊之 津田 孝一 向江 和郎	2605948	飛翔体の加速装置	宮本 昌広 森田 公
			2605952	自動販売機のディスプレイ装置	大橋 光則
2602324	飲料水殺菌装置	篠原 泰三 中久保順一	2605955	板金製プロペラファンのパランス錘り取付装置	金城 末男
2604470	半導体装置	松崎 一夫 天野 彰	2606348	熱形過負荷継電器の動作表示装置	日向 正光 秋池 勝美
2604534	電磁調理器	柴田 勝美	2606382	操作表示パネル	川崎紀久雄 福原 正則
2604666	誘導加熱装置	松本 巖 中村 清和	2606395	磁気ディスクの表面突起除去方法	長村 正一



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。