

# オイルミストの飛散状況に関する解析的研究

## — CFDと実測の比較 —

### Keywords

浮遊微粒子 飛散 機械換気  
オイルミスト 粒径 CFD

DZ20706 下田一輝

### 1. はじめに

我々の生活する空間において、それがどのような構造のものであれ、快適で心地よい場所であることが望まれる。しかし、現代の建築は省エネルギーの観点から、高气密、高断熱の仕様のもが多くみられ、換気量の減少や外気の侵入が極めて小さくなっていると考えられる。

一方で、用途・構造上窓を開けての換気というのが困難な施設も多く、衛生管理の点で問題を抱えている建築が多く存在している。こういった現状の中、飲食店などで度々問題視されているのがオイルミストである。室内の汚れや臭気の原因になるだけでなく、粒径の小さなものとなると呼吸器内部の肺細胞などに沈着し、健康被害を引き起こすと考えられている。故に、機械換気のみで、このような原因物質であるオイルミストの捕集を可能にし、衛生状態を維持できる室内環境の設計が不可欠であると考えられる。

本研究では、オイルミストが多く発生する建築を対象にCFD(Computational Fluid Dynamics)ソフトウェア（以下「CFD」と表記）を用いた実証と現地実測を行い、オイルミストの分布や挙動を評価・分析をし、その特性を究明することを目的とする。

### 2. 研究概要

オイルミストの詳細な飛散状況について調査するために、CFDでの解析と現地での実測を行う。解析に関しては、本学内の環境実験室2と実在するステーキハウスの3Dデータを作成し、それをもとにCFDで室条件の設定を行い、室内空気環境をシミュレーションする。また、現地での実測を行う。ここで使用するCFDはHEXAGON社のSTREAM ver2023.1を、解析モデルの作成にはAutodesk社のRevit 2023を用いた。実測に関しては、解析対称建築物のオイルミストの飛散状況について定量的に観察する。

最後に、解析結果と実測で得られたデータを比較し、CFDの実空間に対する整合性について評価していく。

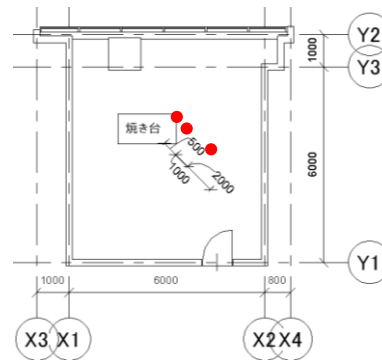


図1 環境実験室2の平面図とLPC設置位置

表1  
環境実験室2の居室概要

	解析対称建築
居室面積[m <sup>2</sup> ]	39
天井高[m]	4.8

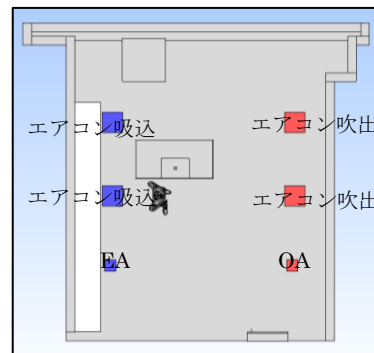


図2 環境実験室2の空調機配置図

表2  
環境実験室2の空調機風量

空調機	風量[m <sup>3</sup> /s]
エアコン吸込	3
エアコン吹出	-3

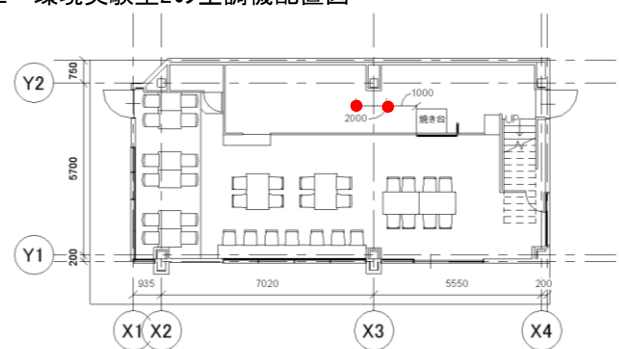


図3 ステーキハウスの平面図とLPC設置位置

表3 ステーキハウスの居室概要

	解析対称建築
店舗面積[m <sup>2</sup> ]	91.14
天井高[m]	2.6
席数[席]	35

## 2.1 解析と実測における対称建築物概要

### (1) 環境実験室 2

図1、図2、表1、表2は、芝浦工業大学本部棟環境実験室2の平面図と空調機配置、居室概要、空調機風量をまとめたものである。

### (2) ステーキハウス

図3と図4、表3、表4は、ステーキハウスの平面図と空調機配置、居室概要、空調機風量をまとめたものである。

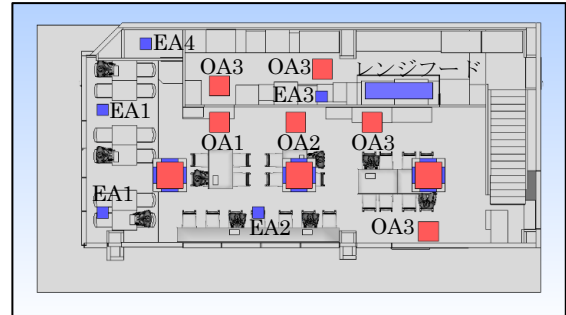


図4 ステーキハウスの空調機配置図

## 2.2 解析概要

本シミュレーションでは、モデリングした(1)と(2)において、オイルミストの挙動を調査することを目的とし、解析を行う。解析領域について、(1)は室内全域で、(2)は店舗1階厨房全域とする。発生させるオイルミストの粒径はそれぞれ $0.387\mu\text{m}$ 、 $0.591\mu\text{m}$ 、 $0.836\mu\text{m}$ 、 $1.41\mu\text{m}$ 、 $3.16\mu\text{m}$ 、 $10\mu\text{m}$ の6種類とした。この粒径については、本研究で用いたLPCのチャンネルのレンジ幅に基づいて、その間の幾何平均値を代表粒径として用いた。詳細を表5に示す。それぞれの粒子の発生量や発生させるタイミングに関しては実測で得られたデータをもとに設定した。また、ここで設定している空調機の風量に関しては、設計図書を基本として、実際の稼働率など鑑み、妥当と思われる値を設定した。

## 2.3 実測概要

### 〈実測手順〉

本実測は、CFD上の解析結果と実空間に対する整合性を評価する資料とすることを目的とし、LPCを使用した実測において、焼き台から、以下に示す測定点までの距離におけるオイルミストの飛散状況について調査を行う。

(1)の場合、使用できるLPCの台数が3台であったため、図1の赤くプロットした点のように焼き台から0.5m、1m、2mの位置に、LPCのセンサーが焼き台と同じ高さになるように設置する。また、実測の試行回数は8回とし、1回の実測につき、焼き台でステーキを1枚ずつ焼き、10分間におけるオイルミストの変化について実測していく。

(2)では(1)と同様に、3台のLPCを用意したが、そのうちの1台に機器トラブルが発生し使用できなかったため、2台での実測となった。そのため、図4の赤くプロットした点のように焼き台から1m、2mの位置に、LPCのセンサーが焼き台と同じ高さになるように設置する。計測に関しては、1時間程度の連続実測を行った後、その1時間のデータの中から特定の10分間を切り取り、その時間内のオイルミストの飛散状況について実測していく。

表4 ステーキハウスの空調機風量

空調機	風量[m <sup>3</sup> /h]
OA1	-900
OA2	-1000
OA3	-600
EA1	1000
EA2	900
EA3	1200
EA4	100
天井カセット型エアコン吸込	4000
天井カセット型エアコン吹出	-1000
レンジフード	900

表5 LPCのchの各レンジ幅に対する代表粒径

LPCのchレンジ幅[ $\mu\text{m}$ ]	0.3-0.5	0.5-0.7	0.7-1.0	1.0-2.0	2.0-5.0	5.0-
代表粒径[ $\mu\text{m}$ ]	0.387	0.591	0.836	1.41	3.16	10

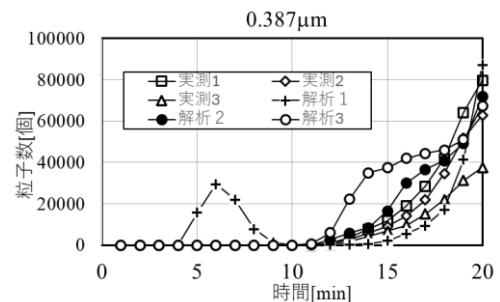


図5 (1)における $0.387\mu\text{m}$ の解析・実測データ

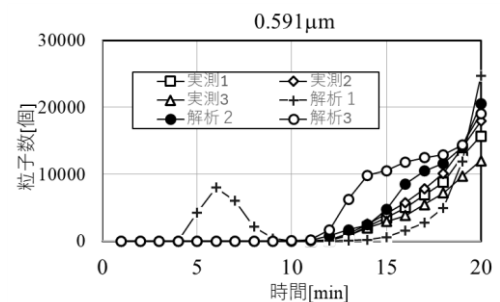


図6 (1)における $0.591\mu\text{m}$ の解析・実測データ

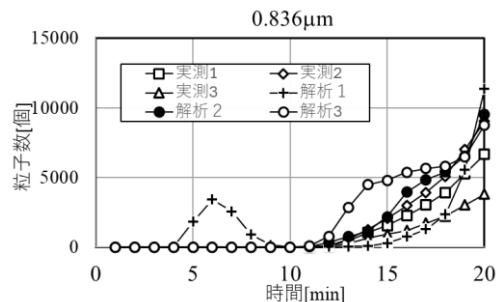


図7 (1)における $0.836\mu\text{m}$ の解析・実測データ

### 3 結果と考察

図5～図10と図11～図16は、(1)と(2)におけるオイルミストの各粒径ごとの解析データと実測データを比較したグラフである。グラフの中で、実測1、実測2、実測3、解析1、解析2、解析3と表記があるが、実測1と解析1は焼き台から0.5mの位置、実測2と解析2は焼き台から1mの位置、実測3と解析3は焼き台から2mの位置での結果を示している。また、図5の環境実験室2においての実測データは、全8回の実測データの平均を取ったものを使用している。

#### (1) 環境実験室2

図5～図10は環境実験室2での粒径ごとの実測と解析のデータをグラフにしたものである。

まず実測結果に関しては、いずれの粒径のデータを見てもおおよそ下に凸の形状をしたグラフになっており、指数関数的増加を見せていることが分かる。今回、実測をする際、換気扇は回さず、エアコンのみを点けて実測を行った。そのため、室内に発生する気流は、エアコンの気流と、鉄板と室温との温度差で生じた上昇気流が考えられる。このことから、鉄板から発生したオイルミストは上昇気流によって天井付近まで上昇し、しばらくの間滞留した後、天井付近で滞留していたオイルミストはゆっくりではあるが、エアコンの気流や、自らの沈降により、観測の後半で急激な粒子数の増加が見られたことが考えられる。

一方で、解析結果を見てみると解析3の粒子数の増え方が実測3と大きく異なっていることが見て取れる。特に、粒径の小さいグラフで顕著に違いが見られることから、エアコンの気流に大きく影響を受けていることが考えられる。故に、粒径が $1.41\mu\text{m}$ 以下のものにおいては、実空間と解析上で気流への影響の受け方に乖離が発生したと考えられる。

#### (2) ステーキハウス

図11～図16はステーキハウスでの粒径ごとの実測と解析のデータをグラフにしたものである。

まず、実測と解析でおおよそグラフの形状が一致していると見て取れるのは1~4minの時間帯である。この時間帯においてはどちらも2分のあたりで粒子数が増加し、その後減少していくことが確認できる。故に、この時間帯における粒子の挙動には、実空間と解析で整合性がとれていると考えられる。

しかし、各粒径ごとの焼き台からの距離における粒子数について見てみると、基本的に実測では焼き台から離れるほど観測される粒子数は減少しているのに対して、解析ではその逆の結果となった。また、グラフの形状で最も大きく異なる点は、実測の粒子の増加する時間帯と解析で粒子が増加する時間帯がずれていることである。

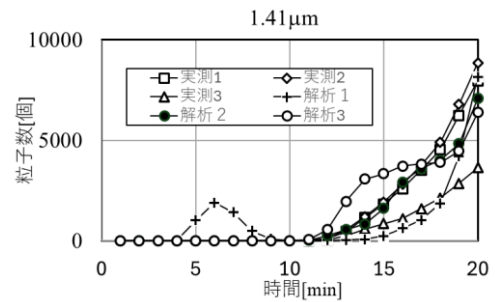


図8 (1)における $1.41\mu\text{m}$ の解析・実測データ

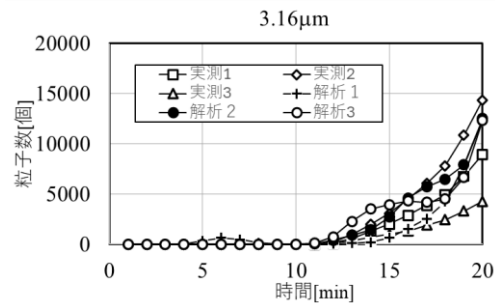


図9 (1)における $3.16\mu\text{m}$ の解析・実測データ

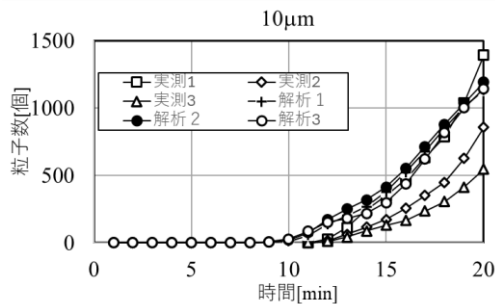


図10 (1)における $10\mu\text{m}$ の解析・実測データ

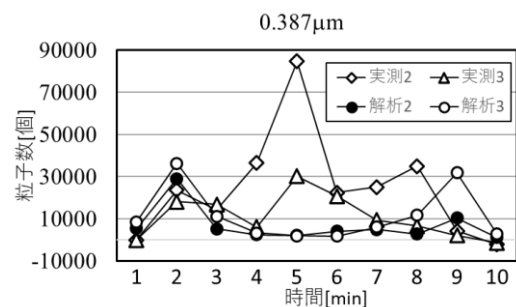


図11 (2)における $0.387\mu\text{m}$ の解析・実測データ

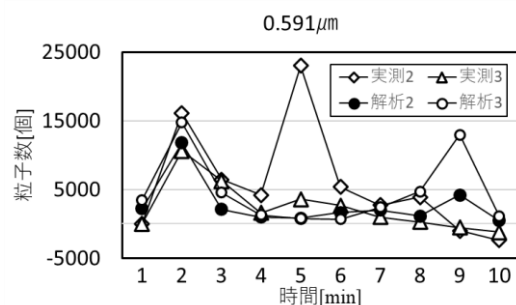


図12 (2)における $0.591\mu\text{m}$ の解析・実測データ

実測では、5minのところでは2回目の粒子の増加が確認できるが、解析では9minのところでは2回目の粒子の増加が確認できる。実測をしていた中で、5～10minの時間帯でステーキを焼いており、そこで発生したオイルミストの観測において、実測と解析で4分ほどの時間差が示されている。また、粒子数が極大値を取った際のピークの違いも顕著であった。原因として、実測の際LPCがオイルミスト以外の大気塵を計測してしまったことや、解析では考慮しきれなかった人の動きや扉の開閉による建物外部からの影響による気流の乱れが原因となっていることが考えられる。

#### 4.まとめ

本研究においては、以下に示すような知見が得られた。

##### (1) 環境実験室 2

1) 解析と実測から極めて気流のない空間において、オイルミストの拡散速度は小さいため、オイルミストの挙動考える上で最も考慮すべき因子の一つとして気流が考えられる。

2) 今回の解析は実空間に対して基本的に整合性のとれているものとなったが、1.41 $\mu\text{m}$ 以下の粒径のオイルミストにおいては気流の影響の受け方に乖離が見られた。

##### (2) ステーキハウス

1) 1～4minの時間帯での粒子の挙動に関しては、実空間と解析で整合性のとれた結果であった。

2) 空調機の気流のみの考慮をしたオイルミストの解析を行った場合、実空間とは粒子数が極大値をとる時間帯がずれていたり、焼き台からの距離による観測された粒子数のピークに違いが見られた。

#### 5 今後の課題

本研究では、環境実験室2とステーキハウスの2つの室内空間において解析と実測を通してオイルミストの挙動を調査した。その中で、解析と実測との間にいくつかの乖離が見られた。そこで今後の課題を以下に示す。

##### 1) 実測について

今回のステーキハウスでの実測は通常営業をしている中での実測であったため、人の動きであったり、扉の開閉であったり等、複雑な環境下での実測となってしまった。より限定的な条件のもと実測を行う必要があると考える。また、LPCでは特定の粒子の観測ができない点から実測方法にも再考の余地がある。

##### 2) 解析について

今回の解析は空調機の気流のみを考慮をした解析であったため、人の動きや室外からの影響を考慮しきれなかった。また、粒子に物性を反映させる際の限界やその整合性についても厳密な検討が求められる。

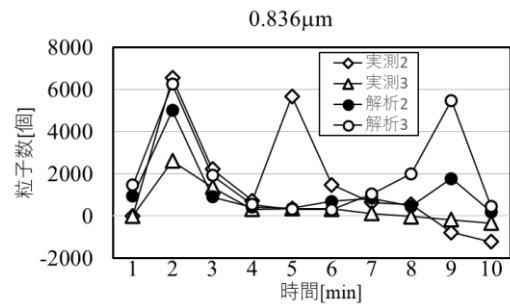


図13 (2)における0.836 $\mu\text{m}$ の解析・実測データ

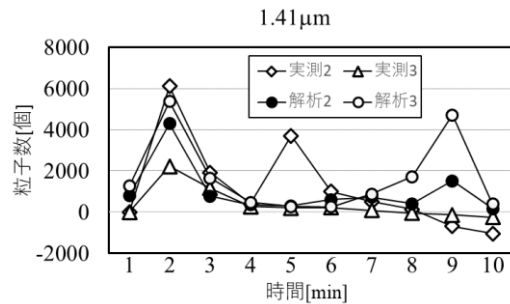


図14 (2)における1.41 $\mu\text{m}$ の解析・実測データ

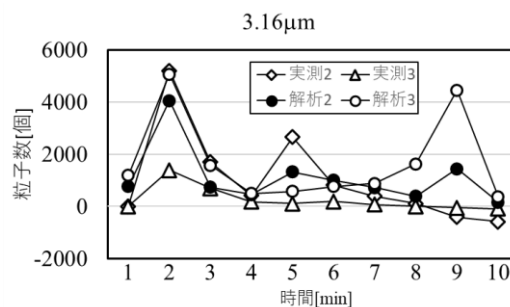


図15 (2)における3.16 $\mu\text{m}$ の解析・実測データ

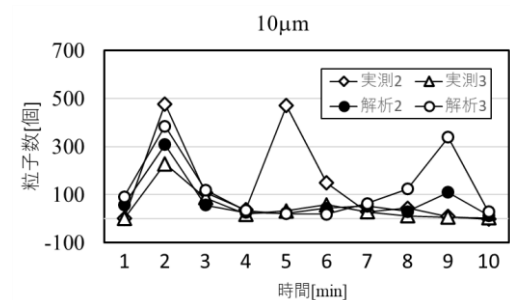


図16 (2)における10 $\mu\text{m}$ の解析・実測データ

#### 6 参考文献

- 1) 近藤靖史, 川口明伸, 吉野一, 荻田俊輔: 業務用厨房内で発生する油煙の粒度分布とエアロゾルとしての特性, 日本建築学会環境系論文集, 第76巻 第664号, pp.547-554, 2011年6月
- 2) 高揚, 松下敬幸, 山ノ内和久, 山口弘雅: 業務用厨房の環境改善に関する研究 第2報 水蒸気上昇速度及びオイルミスト濃度の測定, 空調調和・衛生工学会大会 学術講演論文集, pp.397-400, 2003年
- 3) 厚生労働省: 感染拡大防止のための効果的な換気について <https://www.mhlw.go.jp/content/001020788.pdf>, 令和4年7月14日