

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：32678

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420591

研究課題名(和文) 作業空間の空気環境改善のためのオイルミスト分布の数値解析手法と換気システムの開発

研究課題名(英文) Numerical simulation on distribution of oil mist in working spaces and ventilation system to keep air quality good condition

研究代表者

近藤 靖史 (KONDO, YASUSHI)

東京都市大学・工学部・教授

研究者番号：20267339

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：工場や業務厨房において発生するオイルミスト(油煙)は作業者の健康に悪影響を及ぼす。オイルミストは重力沈降や吸着により、床や壁に付着するが、その挙動は十分には明らかにされていなかった。

本研究では、先ず実験により粒子径ごとにオイルミストの挙動を検討した。次に、オイルミストの空間分布について数値解析手法を検討し、その予測精度を確認した。

作業環境の空気質を良好に維持するためには局所排気装置でオイルミストを効率的に除去し、作業域のオイルミスト濃度を低く維持することが重要である。

研究成果の概要(英文)：Oil mist generated in factory and commercial kitchens has a serious influence on worker's health and may make an odor problem. Therefore the behavior of oil mist should be investigated to resolve such problems. In this research, particle size distributions emitted from griddle and fryer were measured under two conditions, i.e. real cooking operation and simulated one. The results showed that the oil mist concentration in the kitchen was influenced by hood capture efficiency and thermal plume above the cooking devices.

Then numerical simulation method of space distribution of oil mist was studied on the basis of CFD. The simulated results were compared to the experimental results.

In order to keep working space clean, it is very important that oil mist is efficiently captured by local ventilation system and the concentration of mist in occupied zone is kept low.

研究分野：建築環境工学

キーワード：作業空間 空気環境 オイルミスト 実験 数値解析 換気システム

1. 研究開始当初の背景

建築環境・設備工学における主な課題の一つは、「健康で快適な室内環境をより効率的に形成する方法」の検討である。特に、空調・換気に費やすエネルギーが多く、適切な換気・空調計画を行うことが、省エネルギー・省CO₂を考える上で非常に重要である。このような観点から換気・空調に関して多くの研究がなされている。しかし、国内においては、住宅やオフィスなどの一般環境に対する研究がほとんどであり、工場などの労働環境に関する研究は少ない。本研究では工場やレストランの厨房(以降、業務厨房)などの労働環境、特に空気環境の改善を目的としている。

工場や業務厨房の作業空間の空気環境に着目すると、オイルミストによる作業員への健康影響が問題となることが多い。すなわち、作業時に発生するオイルミストには多種類の化学物質が溶解しており、作業空間内を浮遊するオイルミストが人体の呼吸器内部に到達し、肺胞壁などに沈着し、健康影響を引き起こす。また、オイルミスト内の化学物質には臭気成分が含まれており、臭気に関わる問題の原因となる。さらに、換気システムにおける排気ダクト内表面に付着したオイルミストはダクト火災の原因となる。

上記の観点からオイルミストの作業空間内での挙動を知ることは重要である。

2. 研究の目的

工場や業務厨房において発生するオイルミスト(油煙)は作業員の健康に悪影響を及ぼす。作業員の健康を維持するためにはオイルミストの空間分布を知り、呼吸域での濃度を低減する必要がある。研究代表者による既往の研究では、オイルミストの粒子数に着目すると粒子径の小さいオイルミスト(1 μ m以下)が卓越しているが、質量に着目すると大きな粒子径(1 μ m~10 μ m)のオイルミストが重要となることが明らかにされている。大きな粒子径のオイルミストは重力沈降や吸着により、床や壁に付着し、化学物質や臭気を放散するが、その挙動は十分には明らかにされていない。

本研究では、粒子径の大きいオイルミストの挙動を明らかにし、数値解析手法を検討する。

3. 研究の方法

(1) オイルミストの空間分布の実験

図1に示す実験室内(4.0m x 4.0m x 2.5m)でオイルミストを発生させ、実験室内の30点程度においてオイルミストの粒度分布(粒子径ごとの粒子数)を測定した。実験室の中央に、オイルミストを発生する調理機器を設置し、業務厨房をモデル化した実験を行った。これは、業務厨房は空間も小さく、研究代表者らの研究によりオイルミスト発生方法も検討されているためである。実験室は空間下部から給気し、実験室中央天井に設置した排

気フードから排気する。グリドルやフライヤを用い、決められた手順に従い調理を行う実調理実験と、模擬負荷装置を使用した模擬調理実験とを行った。測定項目を表1に、実験ケースを表2に示す。

オイルミストの測定はエアロゾルスペクトロメーター・Welas Promo 2000(PALAS社製)を用いて、粒子径0.2 μ m~40 μ mのオイルミストに対し粒子径ごとの粒子数を測った。

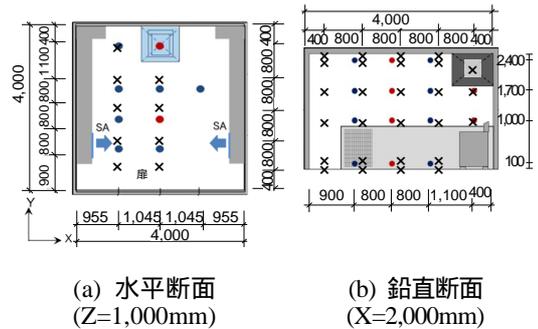


図1 実験室

表1 測定項目

| 測定項目 | 実験条件 | 測定点数 | 測定機器 |
|--------|------|------|------------------|
| 温度 | 模擬調理 | 計45点 | RTR-57C(T&D) |
| | | | T型熱電対(江藤電機) |
| オイルミスト | 実調理 | 6点 | welas2070(PALAS) |
| | 模擬調理 | 34点 | |

表2 実験ケース

| ケース名 | 調理機器 | 調理食材 | 模擬負荷方法 |
|----------|--------------|-------------------|---------------|
| Case R-G | 実調理 グリドル | ハンバーグ | 油・水定量 滴下装置 |
| Case R-F | 実験 フライヤ | コロック | |
| Case M-G | 模擬調理 グリドル | パプリング装置 機器負荷装置 | |
| Case M-F | 実験 フライヤ | | |

(2) オイルミストの測定結果に基づくエアロゾルとしての特性の検討とCFD解析手法の検討

(1)で測定した結果から、重力沈降・吸着などのエアロゾルとしての特性を検討し、この特性を組み入れたCFD解析手法を検討した。解析では1 μ mより小さいオイルミストはガス状物質と同様に扱い、粒子径の大きいオイルミストは1 μ m、5 μ m、10 μ mなどの代表的な粒子径ごとにCFD解析を行い、オイルミストの空間分布を求めた。解析ケースを表3に示す。Case 1ではフード面風速を実験条件と同じ0.2m/sとした。しかし、後述のように排気フードの捕集率が極めて高く、実験室内でのオイルミストの拡散が見られなかった。そこで他のケースでは排気フードの面風速を0.15m/sとして検討を進めた。また、Case 2とCase 3では重力沈降の影響による差異を検討した。さらに、Case 4とCase 5ではフライヤ上のブルームに対し擾乱があった場合の検討を行った。

表3 解析ケース

| ケース名 | フード面風速 | 重力沈降 | 擾乱 |
|--------|---------|------|-----------------------------|
| Case 1 | 0.2m/s | ○ | なし |
| Case 2 | 0.15m/s | ○ | なし |
| Case 3 | 0.15m/s | × | なし |
| Case 4 | 0.15m/s | × | 0.15m/sの横風を規定 |
| Case 5 | 0.15m/s | × | ブルーム中心から外側に向けて0.15m/sの風速を規定 |

4. 研究成果

(1) オイルミストの空間分布の実験

調理機器直上のオイルミストの粒度分布

調理機器直上におけるオイルミストの粒度分布を図2と図3に示す。また、オイルミストの粒子数濃度の粒度分布を図2と図3の上段に、質量濃度の粒度分布を下段に示す。また、粒子数濃度で示したエアロゾルの粒度分布は対数正規分布となる場合が多く、今回の測定結果も概ね対数正規分布を示していた。

・フライヤの結果

調理機器直上 FL+1,000mm において、フライヤの模擬調理時 (Case M-F) と実調理時 (Case R-F) を比較すると、実調理時に比べ模擬調理時で粒子数濃度が非常に高く、模擬調理実験の結果は実調理実験と対応していない。模擬調理実験では、水ミストが発生している可能性は極めて低いが、実調理では食材に含まれる水分により水ミストが発生していると考えられ、これらが両者の差異の要因の一つであると考えられる。

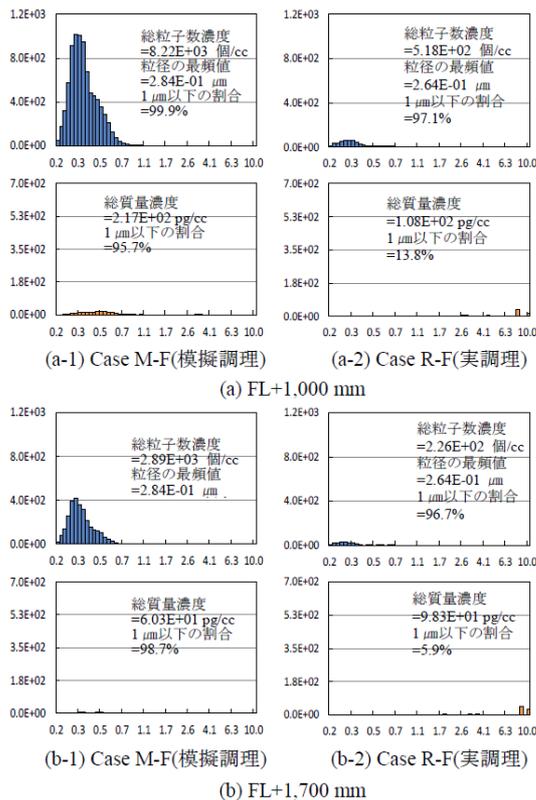


図2 フライヤ調理時 調理機器直上の粒度分布

・グリドルの結果

調理機器直上 FL+1,000mm において、グリドルの模擬調理時 (Case M-G) と実調理時 (Case R-G) を比較すると、粒径 1 μm 以下において両者は良く対応している。しかし 1 μm 以上の大きい粒径において模擬調理時では実調理時に比べ大きい粒度分布を示した。これはグリドル模擬調理時には、グリドル鉄板上に水と油を滴下させているため急激な水分の膨張と油膜で形成される気泡の破裂が連続して生じ、実調理時より粒径の大きいオイルミストが発生していると考えられる。

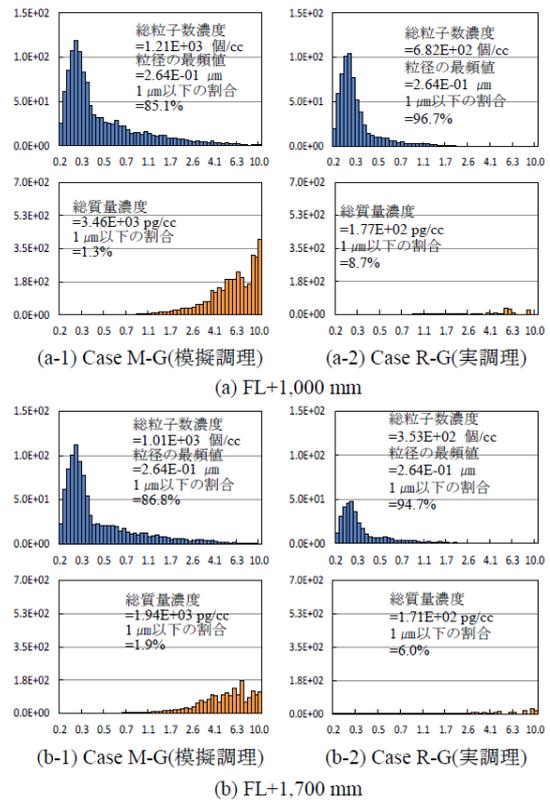


図3 グリドル調理時 調理機器直上の粒度分布

実験室中央のオイルミストの粒度分布

実験室中央におけるオイルミストの粒度分布を図4と図5に示す。

・フライヤの結果

実験室中央 FL+100、1,000mm において調理機器非稼働時と同様にオイルミスト濃度は、ほぼ0であった。また、フライヤの模擬調理時 (Case M-F) と実調理時 (Case R-F) を比較した場合、粒度分布は似ているが、粒径に着目した場合、模擬調理時では全ての点において 1 μm より小さいオイルミストのみだったが、実調理時には 1 μm より大きいオイルミストが確認された。これは、模擬調理時に比べ実調理時には大きいオイルミストが発生していることが原因であり、模擬調理時のオイルミスト発生方法の改善が必要である。また、鉛直方向で比較した場合、模擬調理時と実調理時の両ケースとも少ないながら高い位置で粒子数濃度が増加する傾向が見られた。これは熱上昇流などの気流の影響を受けている

ことが原因と考えられる。

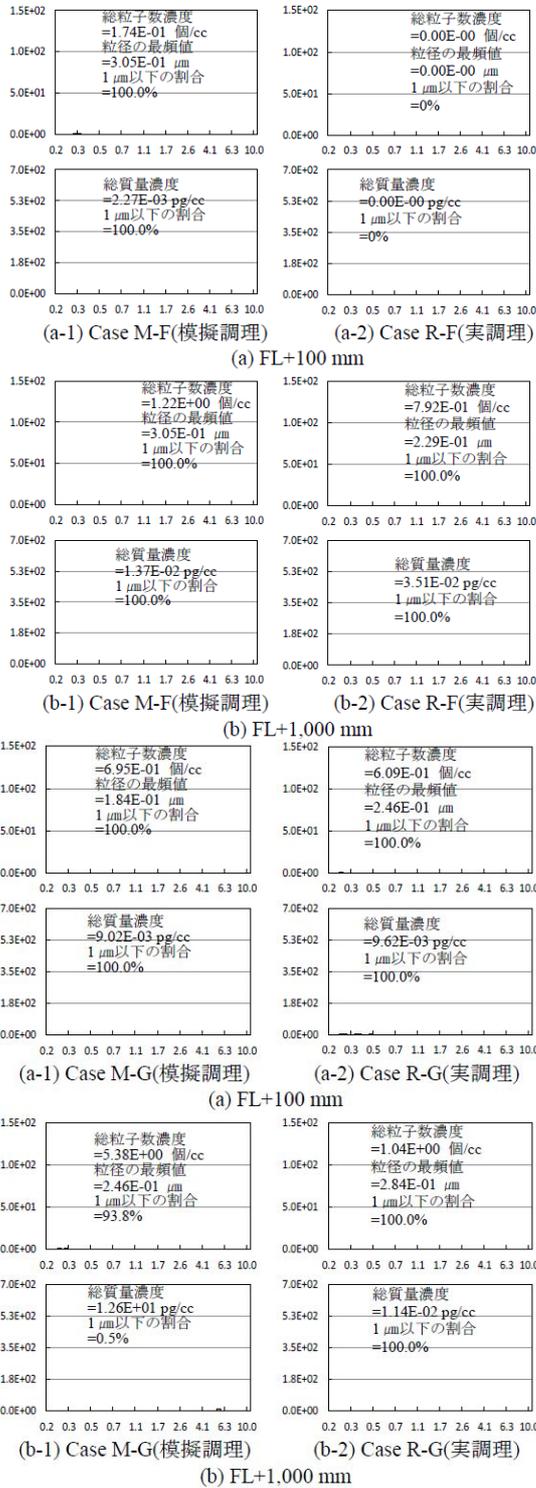


図4 フライヤ調理時 実験室中央の粒度分布

・グリドルの結果

フライヤと同様に FL+100、1,000mm におけるオイルミスト濃度は 0 であったが、FL+1,700、2,400mm において濃度が高く、実験室内への拡散が確認された。グリドル模擬調理時(Case M-G)と実調理時(Case R-G)を比較した場合、実調理時に比べ、模擬調理時において、オイルミスト濃度が高い。すなわち実調理より多くのオイルミストが発生して

いると考えられる。また、フライヤ同様、鉛直方向で比較した場合、高い位置で粒子数濃度が増加する傾向が見られた。これは、熱上昇流などの気流の影響を受けていることなどが原因として考えられる。

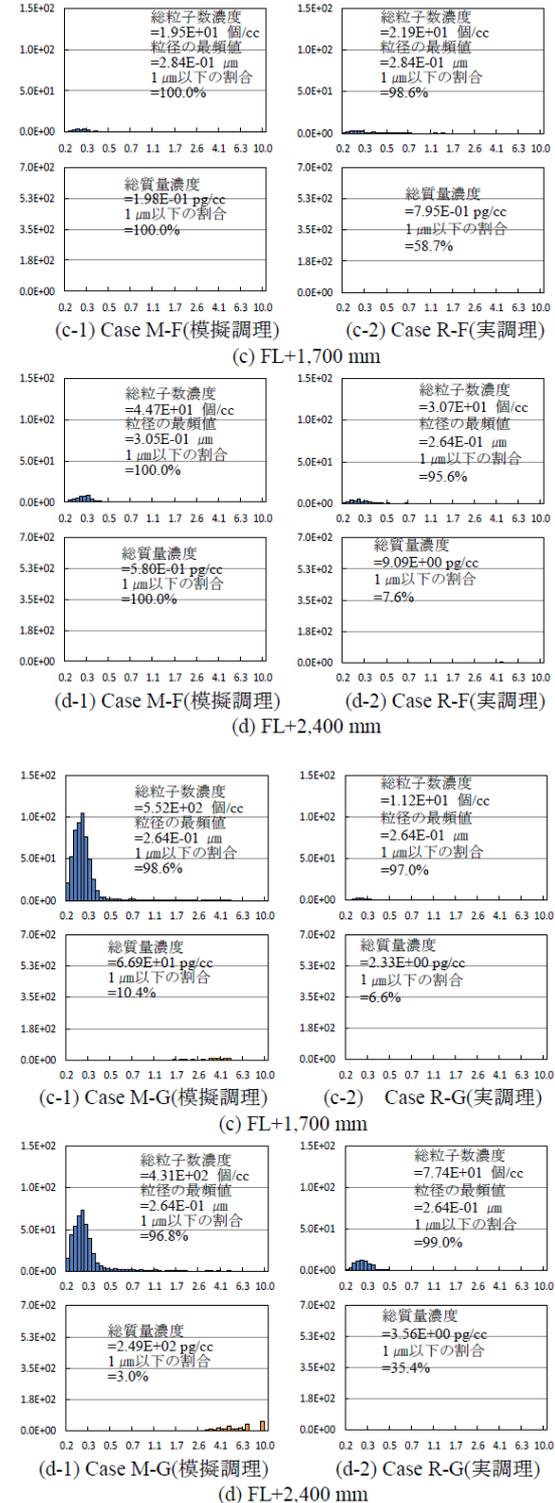


図5 グリドル調理時 実験室中央の粒度分布

(2) オイルミストの測定結果に基づくエアロゾルとしての特性の検討

重力沈降

粒子に加わる外力が重力のみの場合はその初速度に関わらず、重力と媒質から受ける抵

抗力とつり合う平衡速度(終末沈降速度 v_s)で沈降する。 v_s は次式の Stokes の重力沈降速度式で求められる。

$$v_s = \frac{2(\rho_p - \rho)}{9\mu} a^2 g \quad (1)$$

ここで、 ρ_p : 油の密度(=920 kg/m³、20)、 ρ : 空気の密度(=1.205 kg/m³、空気 20)、 μ : 空気の粘性係数(=1.809×10⁻⁵ Pa·s、空気 20)、 a : オイルミストの粒径、 g : 重力加速度(=9.80665 m/s²)。

壁面等への吸着

乾燥空気の密度を ρ [kg/m³]とすると体積濃度基準の物質移動係数 k_x [g/(m²·s·(m³/m³))]と質量濃度基準の物質移動係数 k_c [g/(m²·s·(g/m³))]との間には次の関係がある。

$$k_x = (\rho \times 1000) \times k_c \quad (2)$$

また、ルイスの関係より対流熱伝達率 α と物質移動係数 k_x とは次の関係で表すことができる。

$$k_x = \frac{\alpha}{C_s} \quad (3)$$

(2)、(3)式より、

$$k_c = \frac{\alpha}{C_s \times (\rho \times 1000)} \quad (4)$$

C_s は空気の湿り比熱[kJ/(kg·K)]で乾燥空気と水蒸気との比熱の和で C_s は近似して 1.0 とした。なお壁などの物体表面はオイルミストに対しパーフェクトシンクであると、一度吸着したら脱着しないものとした。

凝集

ブラウン凝集および乱流凝集によるオイルミストの半減期を求めたところ、極めて長い時間であった。また、実験結果においてもオイルミスト濃度が高いフライヤ直上において凝集がわずかに確認される程度であったため、本研究では凝集は考慮しないこととした。

(3)オイルミストの測定結果に基づく CFD 解析手法の検討

CFD 解析結果に基づくオイルミストの粒径ごとの空間分布を以下の手順で検討した。

- ・フライヤ近辺の測定点のうち基準とする点を選び、0.2, 0.3, 0.5, 0.7, 1.0, 5.0, 10.0 μ m の 7 つの粒径の粒子数濃度に着目する。
 - ・CFD 解析結果から、基準点と他の測定点とのオイルミスト濃度比を求め、抽出した 7 つの粒径の粒子数濃度に乗じる。
 - ・他の測定点での粒度分布を重ねて検討する。
- 本研究では排気フードに比較的近く、逸流したオイルミスト濃度が高い測定点の FL+1,700mm を基準とした。

重力沈降の影響

重力沈降を考慮しなかった Case3 の結果(図省略)は Case 2(図 6)の結果と変わらず、

重力沈降の影響は見られなかった。

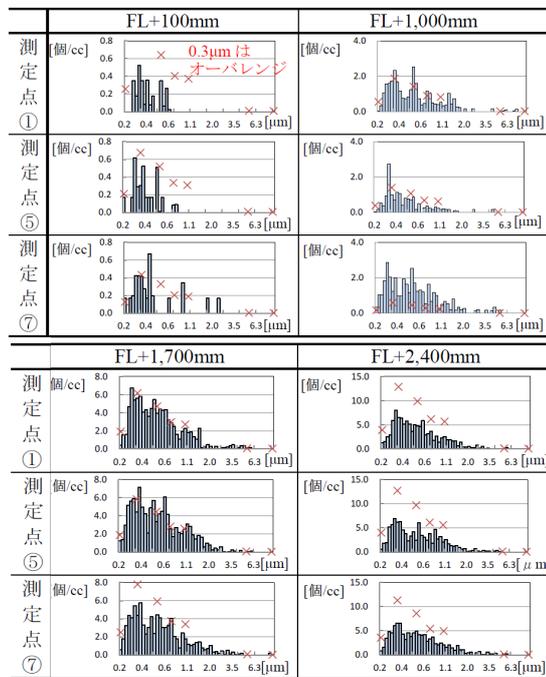


図 6 Case 2 での各測定点の粒子数濃度 [個/cc] (×: CFD、棒グラフ: 実験)

擾乱気流の影響

CFD 解析ではフライヤ上部のブルームの拡散を小さく評価する傾向があり、その結果、オイルミストの拡散も小さく見積もる可能性がある。また、実験では室内に測定者がいる状態であったため、測定作業に伴う擾乱が発生していた可能性が高い。そこで、本研究では横風を当てたケースとして Case 4 を、熱上昇流の拡散を助長する気流を想定した Case 5 を検討した。図 7 に Case 4 の結果を、図 8 に Case 5 の結果を示す。

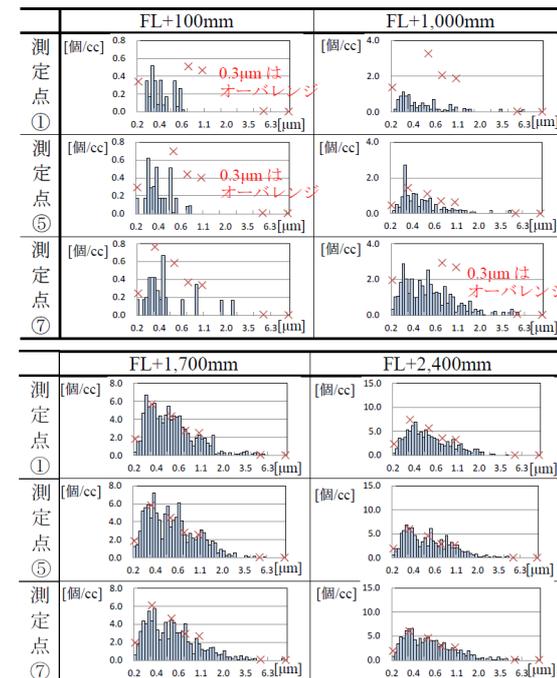


図 7 Case 4 での各測定点の粒子数濃度 [個/cc] (×: CFD、棒グラフ: 実験)

Case 4 の結果は Case 2 の結果に比べ、一部の測定点を除いて実験との対応が良好であった。また、Case 5 の結果も Case 2 の結果よりも実験との対応は良い傾向が見られる。オイルミストの空間分布を精度よく求めるには、気流場の再現性が最も重要であることが示唆される。

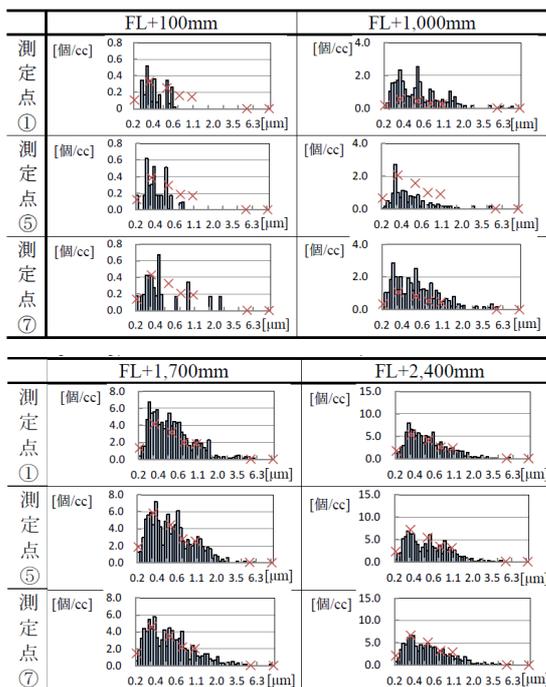


図8 Case 5 での各測定点の粒子数濃度 [個/cc]
(× : CFD、棒グラフ : 実験)

また、擾乱気流の影響により作業域のオイルミスト濃度に差が見られた。このことより、作業環境の空気質を良好に維持するには、擾乱気流がない状況を形成し、局所排気装置のオイルミストを効率的に除去することが重要であると考えられる。このような静穏な空気環境を形成する天井給気型置換換気・空調システムが有効であると考えられる。

5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 4 件)

込山皓基、近藤靖史、小松洋登、吉野一、奥田篤：紫外線による排気ダクト内表面の油膜の分解除去に関する研究、日本建築学会、2016年8月25日、福岡大学(福岡県)

齋藤義博、近藤靖史、梶原友紀、込山皓基、奥田篤、小松洋登：調理機器から発生するオイルミストの空間分布に関する研究(その1) オイルミストの粒度分布の測定方法、日本建築学会、2015年9月5日、東海大学湘南キャンパス(神奈川県)

梶原友紀、近藤靖史、齋藤義博、込山皓基、奥田篤、小松洋登：調理機器から発生するオイルミストの空間分布に関する研究(その2) 調理時に発生するオイルミストの粒度分布の測定結果、日本建築学会、2015年9月5

日、東海大学湘南キャンパス(神奈川県)

齋藤義博、近藤靖史、込山皓基、奥田篤、小松洋登：業務用調理機器から発生するオイルミストの空間分布の測定、空気調和・衛生工学会、2015年9月17日、大阪大学豊中キャンパス(大阪府)

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

近藤 靖史 (KONDO, Yasushi)

東京都市大学・工学部・教授

研究者番号：20267339